

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería de la Energía

**ESTUDIO DE LAS POSIBLES CONSECUENCIAS
QUE GENERARÍA LA INTEGRACIÓN DEL
VEHÍCULO ELÉCTRICO.**



Memoria

Autor: Joel Jesús Moreno Tena

Director: Pablo Buenestado Caballero

Co-Director: Leonardo Acho Zuppa

Convocatòria: Octubre 2018

Resumen

En este trabajo se pretende dar respuesta a una de las soluciones planteadas para mitigar el cambio climático. En los últimos años se ha podido observar que cada vez más se emplea el coche convencional para desplazarse. Esta forma de movilidad implica emisiones de CO₂ en las ciudades que se traduce en una disminución de la vida de los habitantes y del planeta. La solución propuesta por gran parte de la comunidad científica es la transición a los coches eléctricos. Éstos no generan emisiones ya que su combustible es la electricidad pero algunos científicos están en contra de esta transición ya que consideran que la contaminación se trasladará del centro de las ciudades al lugar donde se genere la electricidad. Este argumento es bien cierto ya que algunas tipologías de centrales eléctricas generan emisiones debido a su combustible. En el punto de encuentro de estas dos afirmaciones contradictorias es donde se haya el objetivo del presente trabajo. Para resolver esta confrontación de ideas se han realizado tres estudios diferentes en los que se compara el parque automovilístico español actual y el caso en el que en la actualidad existiese un porcentaje del turismo eléctrico de un 1%, 2% y 5%. Para realizar esta comparación se han tenido en cuenta las emisiones de CO₂ de los vehículos en su fabricación y conducción.

En el primer análisis realizado se ha supuesto que la demanda extra del sistema a causa de los coches eléctricos no afecta en el cómputo global del mix energético anual y por lo tanto el factor de emisiones permanece constante.

En el segundo y tercer análisis, las hipótesis planteadas tienen en cuenta la variación del mix energético empleando una interpolación entre un día tipo medio y uno máximo. Estos dos escenarios se caracterizan por fijar las horas de recarga con el fin de conocer el comportamiento del sistema eléctrico a nivel ambiental.

En el segundo estudio el coche eléctrico emplea un cargador inteligente, el cual recarga la batería en las horas valle de la curva de demanda, mientras que en el tercer estudio la recarga se realiza sin éste en el pico de máxima demanda.

Finalmente los resultados han mostrado que la integración del coche eléctrico disminuye las emisiones del conjunto del parque en todos los análisis. Contrariamente a lo pensado inicialmente el segundo estudio presenta un factor de contaminación superior al tercero, ya que las suposiciones realizadas no tienen en cuenta la parada de aerogeneradores debido a la baja demanda en la valle de la curva de demanda.

Resum

En aquest treball es pretén donar resposta a una de les solucions plantejades per mitigar el canvi climàtic. En els últims anys s'ha pogut observar que cada vegada més s'empra el cotxe convencional per desplaçar-se. Aquesta forma de mobilitat implica emissions de CO₂ a les ciutats que es tradueixen en una disminució de la vida dels habitants i del planeta. La solució proposada per gran part de la comunitat científica és la transició als cotxes elèctrics. Aquests no generen emissions ja que el seu combustible és l'electricitat, però alguns científics estan en contra d'aquesta transició ja que consideren que la contaminació es traslladaria del centre de les ciutats al lloc on es generés l'electricitat. Aquest argument és ben cert ja que algunes tipologies de centrals elèctriques generen emissions a causa del seu combustible. En aquest punt d'afirmacions és on es troba l'objectiu del present treball. Per resoldre aquesta confrontació d'idees s'han realitzat tres estudis diferents en els quals es compara el parc automobilístic espanyol actual i el cas hipotètic en que en l'actualitat existís un percentatge del turisme elèctric d'un 1%, 2% i 5%. Per realitzar aquesta comparació s'han tingut en compte les emissions de CO₂ dels vehicles en la seva fabricació i conducció.

En el primer anàlisi realitzat s'ha suposat que la demanda extra del sistema a causa dels cotxes elèctrics no afecta en el còmput global del mix energètic anual i per tant el factor d'emissions roman constant.

En el segon i tercer anàlisi les hipòtesis plantejades tenen en compte la variació del mix energètic emprant una interpolació entre un dia tipus mitjà i un de màxim. Aquests dos escenaris tenen la característica que se'ls fixa les hores de recàrrega amb la finalitat de conèixer el comportament del sistema elèctric a nivell ambiental.

En el segon estudi el cotxe elèctric empra un carregador intel·ligent, el qual recarrega la bateria en les hores vall de la corba de demanda mentre que en el tercer estudi la recàrrega es realitza sense aquest en el punt de màxima demanda.

Finalment els resultats han mostrat que la integració del cotxe elèctric disminueix les emissions del conjunt del parc en tots els anàlisis. Contràriament al plantejament inicial, el segon estudi presenta un factor de contaminació superior al tercer, ja que les suposicions realitzades no tenen en compte la parada d'aerogeneradors produïda per la baixa demanda a la vall de la corba de demanda.

Abstract

This work aims to respond to one of the solutions proposed to mitigate climate change. In recent years it has been observed that the conventional car is increasingly used to travel. This form of mobility implies CO₂ emissions in the cities, which leads to a decrease in the lives of the inhabitants and the planet. The solution proposed by a big part of the scientific community is the transition to electric cars. These cars don't generate emissions since their fuel is the electricity, but some scientists are against this transition because they consider that the pollution will move from the center of the cities to the place where the electricity is generated. This argument is quite true since some types of power stations generate emissions due to their fuel. In this point of affirmations is where the objective of this work is. To solve this confrontation of ideas, three different studies have been done in which the current Spanish automobile fleet is compared to the situation in which there was a currently electric tourism percentage of 1%, 2% and 5%. To make this analogy, the CO₂ emissions of the vehicles in their assemblage and driving have been taken into account.

In the first analysis it has been assumed that the extra demand of the system due to electric cars does not affect the overall calculation of the annual energy mix and, therefore, the emission factor remains constant.

In the second and third evaluations, the hypotheses considered take into account the variation of the energy mix, using an interpolation between a medium and a maximum day. In these two scenarios the recharge hours are fixed in order to know how the electrical system works environmentally.

In the second study, the electric car uses an intelligent charger which recharges the battery during the peak hours of the demand curve, while in the third study the recharge is performed without it at peak demand.

Finally, the results have shown that the integration of the electric car reduces the emissions of the park as a whole in all the analysis. Contrary to what was initially thought, the second study presents a pollution factor higher than the third since the assumptions made do not take into account the wind turbines stoppage due to the low demand in the valley of the demand curve.)

Índice

Resumen	I
Resum	II
Abstract	III
1. Introducción	1
2. Parque automovilístico español.....	3
3. Tipologías de turismos	4
3.1 Coche de gasolina	4
3.2 Coche de diésel	5
3.3 Coche eléctrico.....	6
3.4 Ventajas e inconvenientes del coche eléctrico	8
3.4.1 Ventajas del coche eléctrico	8
3.4.2 Inconvenientes del coche eléctrico.....	9
4. Análisis medioambiental de los vehículos	10
4.1 Coche convencional	10
4.2 Coche eléctrico.....	12
5. Generación de energía eléctrica	16
5.1 Contaminación asociada a la electricidad	17
5.2 Pérdidas en el transporte	18
6. Mercado eléctrico español.....	19
6.1 Funcionamiento del mercado eléctrico español:	19
7. Integración coche eléctrico en el mix energético actual	21
7.1 Integración del 1%	22
7.2 Integración del 2%	23
7.3 Integración del 5%	24
7.4 Integración de un coche eléctrico.....	25
8. Integración en función del tipo de recarga	27
8.1 Integración del 1%	33
8.2 Integración del 2%	37
8.3 Integración del 5%	41
9. Análisis económico	46
10. Conclusiones	47
BIBLIOGRAFÍA.....	49

1. Introducción

La sociedad actual goza de ciertas comodidades que en otras épocas jamás hubieran sido pensadas. La gran mayoría de ellas precisan de una gran cantidad de energía para ejecutarse y repercuten una gran contaminación. Es por ello que actualmente estamos inmersos en una gran crisis medioambiental en la cual si no se actúa de una forma rápida y eficaz supondrá un desastre para el planeta.

El cambio climático es un hecho y los gobiernos deben realizar políticas para mitigarlo, pero los campos de actuación son muy amplios debido a la gran cantidad de comodidades que disponemos. Desde organizaciones y movimientos ciudadanos se está solicitando un nuevo estilo de políticas, las cuales supondrán una transición en diferentes ámbitos.

En los últimos años se han podido observar diferentes casos de contaminación atmosférica en las grandes ciudades como Barcelona y Madrid. En el Plan Nacional de la calidad del aire y protección de la atmósfera 2013-2016 (Plan aire) se afirma que la gran fuente de emisión de contaminantes de las grandes ciudades proviene de las partículas contaminantes producidas por el tráfico rodado.[1] En el Plan aire se propone la clasificación de todos los vehículos del parque automovilístico Español, en función de los niveles de contaminación que emiten. El objetivo de esta clasificación es dar un instrumento a los municipios para realizar políticas de reducción de contaminantes.

Desde diciembre de 2017 la ciudad de Barcelona ya utiliza esta distinción entre vehículos, y en el caso de que haya un episodio de alta contaminación, los vehículos más contaminantes no podrán circular dentro de las zonas de bajas emisiones del ámbito de las rondas de Barcelona de 7 de la mañana a 8 de la tarde.[2]

En Madrid en cambio se ha optado por una forma diferente, la cual está recogida en la Ordenanza de Movilidad Sostenible. De esta ordenanza se puede destacar el proyecto Madrid Central que incluye restricciones al tráfico en el Distrito Centro en función de la clasificación de los vehículos.[3]

Paralelamente a las políticas municipales se está investigando en el campo de la movilidad. La asociación Española del Hidrógeno (AeH2) considera que la industria del hidrógeno puede llegar a crear 227.000 puestos de trabajo para el año 2030 y se prevé que circularán 14.000 vehículos de hidrógeno en España. Detrás de este supuesto hay un conjunto de aproximadamente 200 entidades trabajando para conseguirlo.[4]

La forma de movilidad más conocida, pero poco desarrollada, es la eléctrica. En la primera semana de Septiembre de 2018 Blomeberg New Energy Finance anuncia que las ventas acumuladas del vehículo eléctrico se sitúan en 4 millones. Una gran parte de estas ventas se realiza en el mercado chino, que ha comprado desde 2011 casi un 99% de los autobuses eléctricos vendidos y un 37% de los vehículos para pasajeros.[5]

Con estos hechos se puede observar que la movilidad está sufriendo una transición, y por lo tanto, se puede pensar que en unos años el parque automovilístico será completamente diferente al actual y en éste los vehículos eléctricos y de hidrógeno tendrán una importancia relevante.

Gran parte de la comunidad científica está a favor de este cambio y consideran que es la solución, pero también existen diversos grupos que están en contra y opinan que aún se podría agravar más el problema, ya que los vehículos eléctricos precisan de electricidad. Actualmente su generación proviene en gran medida de centrales no renovables y contaminantes, consiguiendo así reducir la contaminación en las ciudades, pero fuera de éstas se seguirá contaminando.

En el punto en el que se encuentran estas dos afirmaciones se haya la motivación para la realización de este trabajo. El objetivo final es conocer las consecuencias que se podrían producir con la integración del coche eléctrico en un 1%, 2% y 5% en el parque automovilístico español. El alcance de este trabajo es a nivel ambiental y por lo tanto únicamente se realiza la comparación entre la contaminación de cada uno de los casos.

Primeramente, se confecciona una comparación simple en la que la hipótesis principal se basa en que el mix energético no varíe en función del aumento de energía demandada por los vehículos eléctricos. Seguidamente se realiza una nueva comparación, pero esta vez teniendo en cuenta que un aumento de demanda a ciertas horas se traduce en una nueva composición del mix energético global. En esta comparación se realizan dos escenarios, en uno de ellos la carga del vehículo eléctrico se realiza de una forma óptima y beneficiosa para el conjunto del sistema eléctrico, y un segundo escenario que representa una recarga de la batería del coche eléctrico ineficiente para el sistema.

2. Parque automovilístico español

El objetivo del trabajo es realizar una comparación entre el parque automovilístico actual y el posible caso de una integración del vehículo eléctrico. Para ello es necesario conocer la cantidad de coches de cada tipología matriculados a finales del año 2016.

El parque automovilístico español posee una edad media de 12 años, lo que se traduce en contaminación e inseguridad.[6] Además la distancia media anual por coche es de 12.961 kilómetros según el informe GIPA sobre el parque automovilístico español.[7]

La Dirección General de Tráfico ofrece los datos de la flota de vehículos del territorio español y los divide en función de su tipología y el tipo de combustible. El objeto de estudio son los turismos de gasolina, diésel y eléctricos del año 2016, ya que es el último año del que se tiene información, siendo la cantidad de éstos de 9.820.553, 13.038.663 y 14.842 respectivamente.[8] El número total de turismos de todas las tipologías en el 2016 es de 22.876.830. Este dato tiene en consideración diversas tipologías de vehículos que no se han tenido en cuenta en el estudio debido a su poca importancia sobre el conjunto. Por lo tanto, el valor que se emplea en el análisis es de 22.874.058.

Con el fin de poder estipular de una forma razonada la cantidad de coches que se integraran es necesario conocer el porcentaje actual existente de coches eléctricos sobre el número total de análisis. Este cálculo nos da como resultado un 0,065%, por esta razón la integración del coche eléctrico se realiza del 1%, 2% y 5%. No se trata de una gran integración a nivel de importancia sobre el conjunto, pero hay que tener en cuenta que el porcentaje actual es muy bajo y una integración de un 1% implica 213.899 coches eléctricos nuevos.

A continuación en la tabla 2.1 se presentan los valores del parque automovilístico que se emplearán en siguientes apartados.

Tabla 2.1. Resumen del número de coches en función de su tipología empleado en el estudio.

Número de coches diésel	13.038.663
Número de coches gasolina	9.820.553
Número de coches eléctricos	14.842
Número de coches a estudio	22.874.058

3. Tipologías de turismos

En este apartado se realiza una clasificación de las diferentes tipologías de turismos empleados en el estudio. Éstos se pueden clasificar en convencionales o no convencionales. En este documento se entiende como turismo convencional aquél que su fuente de energía proviene de un combustible fósil como la gasolina y el diésel. En toda la extensión del trabajo se utiliza el término coche convencional en los casos que se englobe a las dos tipologías, en caso contrario se les menciona por su nombre. Los nombrados como no convencionales son los coches eléctricos, a éstos a lo largo del trabajo se les llama indistintamente de una forma u otra.

3.1 Coche de gasolina

Este tipo de turismos constan de un motor de explosión capaz de transformar la energía química de la gasolina en energía mecánica. Esta tipología de motores emplea el ciclo termodinámico conocido como Ciclo de Otto. En el caso de los turismos mayoritariamente el motor es de cuatro tiempos o dos vueltas de cigüeñal. Los cuatro tiempos es debido a que precisa de cuatro carreras del pistón para completar el ciclo de combustión. Estas carreras son denominadas como admisión, compresión, explosión y escape. En la primera fase el pistón se desplaza hacia la parte inferior dejando entrar la gasolina mediante válvulas. En la segunda fase el pistón sube a la parte superior comprimiendo de esta forma el combustible. En la tercera fase mediante una chispa se realiza la combustión o explosión del combustible que impulsa el pistón hacia la parte inferior. Por último, se tiene la fase de escape en la que mediante el movimiento del pistón y una válvula se expulsan los gases.

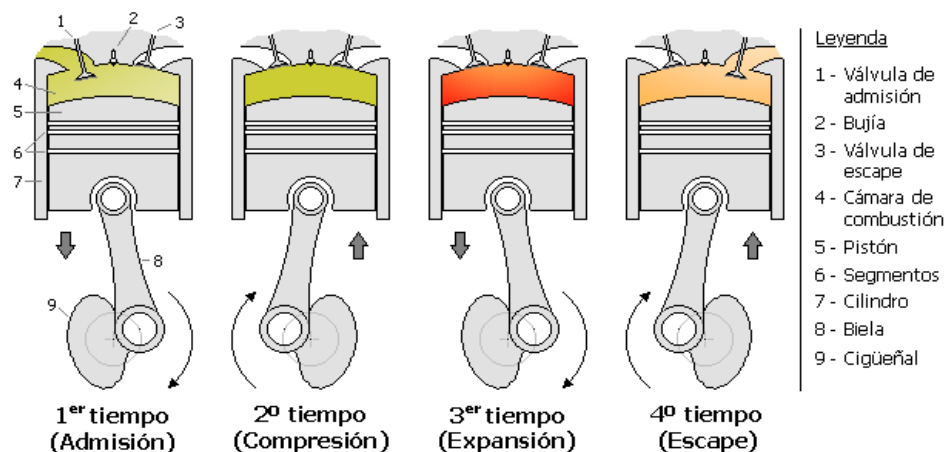


Figura 3.1. Fases del motor de 4 tiempos del turismo de gasolina. [9]

Para observar este proceso de una forma más técnica se presenta en la figura 3.2 la gráfica presión-volumen del ciclo de Otto.

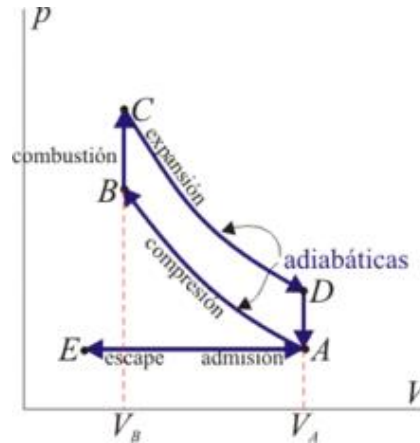


Figura 3.2. Gráfica presión-volumen del ciclo de Otto. [10]

3.2 Coche de diésel

En este caso no se trata de un motor de explosión si no que se trata de un motor térmico. Es decir que la energía mecánica capaz de mover el coche proviene de un gradiente de temperaturas entre un foco caliente y uno frío. El foco caliente se consigue gracias a la alta relación de compresión que posee el ciclo Diésel. Este ciclo es más eficiente que el ciclo de Otto. En los motores más eficientes se pueden llegar a eficiencias del 45 y 55%. Este proceso también consta de las cuatro fases o tiempos, pero en este caso la combustión del carburante no se consigue mediante una chispa. Esta se produce debido a que en la fase de compresión el aire alcanza una temperatura superior a la de autocombustión del gasóleo. Una vez obtenida esta temperatura en el punto más alto se inyecta el combustible pulverizado a alta presión mediante los inyectores. El motor diésel puede llegar a relaciones de compresión más elevadas debido a que únicamente comprime aire a diferencia del de gasolina. La relación de compresión de un motor diésel oscila entre los 12 y 24, mientras que en los motores de gasolina aproximadamente es de 9. En la figura 3.3 se presenta la gráfica presión volumen del motor diésel. Se observa que la única diferencia entre el ciclo de Otto es el paso de B a C. Donde en este caso se modela como un aumento en la temperatura a presión constante.

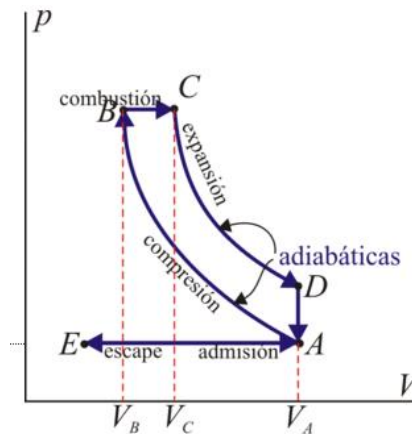


Figura 3.3. Gráfica presión-volumen del ciclo Diésel. [11]

3.3 Coche eléctrico

Este apartado en comparación a los anteriores será un poco más largo debido a que se trata de un vehículo emergente y por lo tanto más desconocido. En primer lugar, se realiza una breve introducción a la historia del vehículo eléctrico.

En 1831 se descubrió la ley de Faraday y posteriormente se inventó el primer motor de Corriente Continua. En 1834 se realizó el primer trayecto, aunque este fuese corto, de un vehículo eléctrico alimentado por baterías no recargables. En 1859 se desarrollaron las baterías de plomo y en 1874 se realizó el primer transporte con vehículos alimentados por baterías. En 1879 se desarrolló el primer tren eléctrico por parte de la marca Siemens.

En 1900 se vendieron un total de 4.200 automóviles. De estos a diferencia de la actualidad la tipología eléctrica ocupaba un 38%, es decir, aproximadamente 1.600 coches. A principios del siglo XX el vehículo eléctrico desaparece, a excepción del transporte ferroviario. En los años 60 y 70 empezaron a resurgir los vehículos eléctricos a causa del aumento del precio del petróleo y debido a razones medioambientales. En los años 90 se incorporaron al mercado nuevas baterías y la electrónica de potencia. Por último en el siglo XXI se mejoraron las baterías y los vehículos eléctricos se conectan a la red eléctrica. [12]

Una vez repasada la historia es posible comentar las características de los coches eléctricos actuales. Éstos constan de un motor eléctrico, cuya fuente de energía son las baterías electroquímicas, los supercondensadores, las pilas de combustible y/o los volantes de inercia. Al no realizar ninguna combustión no realiza emisiones y se obtiene una conducción silenciosa y suave.

El coche eléctrico se puede clasificar en 4 tipos: [12]

- **Micro-Híbrido:** Se trata de un vehículo de combustión con una propulsión eléctrica paralela de potencia muy baja. La tracción del coche se realiza de forma tradicional con cambio de marchas. El motor eléctrico se limita a realizar el encendido y apagado del coche y realiza una pequeña recuperación de energía. Esta tipología de turismos eléctricos utiliza el motor eléctrico para optimizar el consumo entre un 5% y un 10%. En la figura 3.4 se realiza una representación básica de esta tipología de turismo.

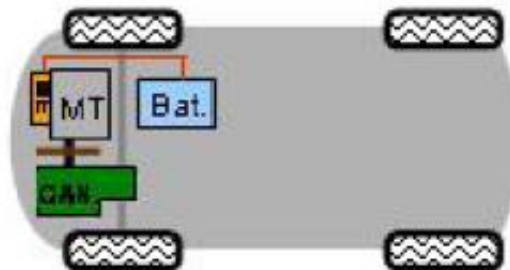


Figura 3.4. Representación simple del turismo eléctrico micro-híbrido.

- **Híbrido:** Al igual que el anterior se trata de un vehículo de combustión con una propulsión eléctrica paralela, en este caso más elevada que la anterior. La tracción del vehículo es directa con cambio de marchas. El motor eléctrico permite circular al turismo entre 2 y 5 kilómetros. Esta tipología de turismos eléctricos utiliza el motor eléctrico para disminuir el consumo en un 20% y 30%. En la figura 3.5 se realiza una representación básica de esta tipología de turismo.

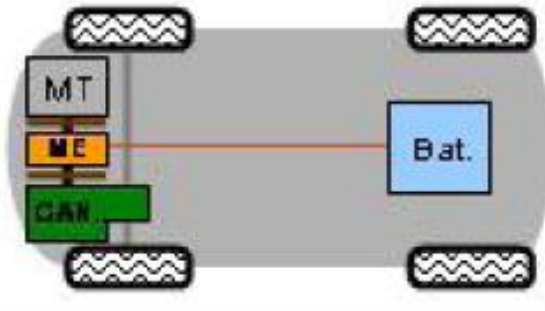


Figura 3.5. Representación simple del turismo eléctrico híbrido.

- **Híbrido enchufable:** Se trata de un vehículo de combustión, el cual tiene una propulsión eléctrica en paralelo o en serie. La potencia eléctrica es más elevada que la de los casos anteriores. La tracción es directa con cambio de marchas. El motor eléctrico tiene dos funciones, conducir en la forma de conducción híbrida en la que aportan energía las dos tipologías de motores o la conducción eléctrica en la que únicamente el motor eléctrico transmite la fuerza. La autonomía eléctrica de esta tipología de vehículos es de 30 a 60 kilómetros. En la figura 3.6 se realiza una representación básica de esta tipología de turismo.

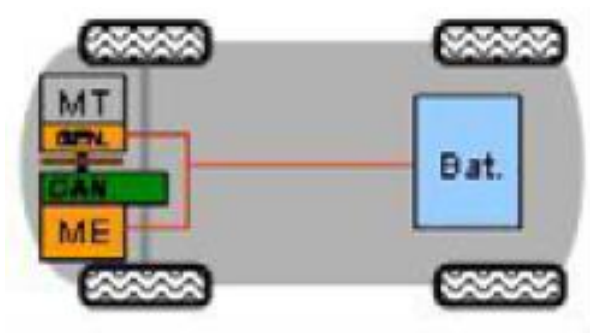


Figura 3.6. Representación simple del vehículo híbrido enchufable.

- **Vehículo eléctrico 100%:** Se trata de un vehículo totalmente eléctrico en el que la propulsión es eléctrica en serie y su potencia eléctrica es elevada. A diferencia de los otros, únicamente consta del motor eléctrico. La autonomía hasta no hace muchos años, no era muy elevada entre 80 y 120 kilómetros. Actualmente esta distancia ha aumentado debido a los avances tecnológicos de las baterías y una mayor eficiencia global del vehículo. En la figura 3.7 se realiza una representación básica de esta tipología de turismo.

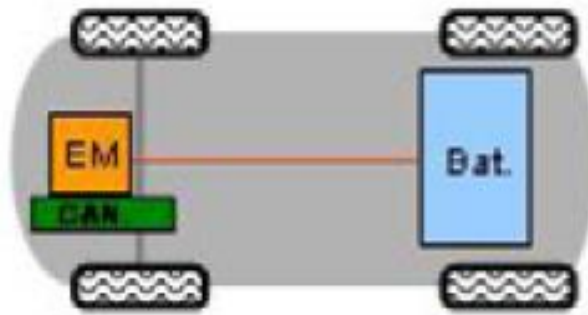


Figura 3.7. Representación simple del vehículo eléctrico 100%.

En el estudio realizado el modelo de turismo eléctrico escogido es el 100% eléctrico.

3.4 Ventajas e inconvenientes del coche eléctrico

Antes de realizar el estudio de las posibles consecuencias que acarrearía la integración del coche eléctrico es conveniente realizar un estudio de las ventajas e inconvenientes respecto al convencional. En este apartado se presentan los puntos a favor y en contra facilitados por el Institut Català de la Energia.[13]

3.4.1 Ventajas del coche eléctrico

El coche eléctrico presenta un gran abanico de ventajas respecto al coche convencional. El Institut Català de la Energia divide estas ventajas en tres tipos: energéticas, ambientales y económicas.

Energéticas:

- El vehículo eléctrico es más eficiente que el vehículo convencional.
- Genera una menor dependencia de los derivados del petróleo debido a que su combustible es la electricidad.
- Favorece el autoconsumo y contribuye a la generación distribuida debido a que la batería puede ser utilizada como almacenamiento.
- Del punto anterior se puede extraer que acelera el desarrollo de las redes inteligentes o Smart Grids.
- Permite la conectividad e iteración con las TIC.

Ambientales:

- No genera emisiones, ni partículas a nivel local: PM10, NO_x, CO, CO₂.
- Disminución de la contaminación acústica en las ciudades.

Económicas:

- Menor gasto de mantenimiento.
- Menor coste de la energía, entre 1€ y 2€ por cada 100 km en función de la tarifa contratada. Amortización del coste del vehículo en torno a los 80.000 km.

- Impuesto de matriculación gratuito mientras que el vehículo convencional paga entre 1.500€ y 2.000€, y descuentos en el impuesto de vehículos de tracción mecánica de hasta el 75%.
- Tarifas reducidas en aparcamientos públicos municipales.

3.4.2 Inconvenientes del coche eléctrico

El coche eléctrico en comparación con los coches convencionales ofrece muchas ventajas, aunque presenta algunos inconvenientes. A continuación se mencionan algunos de ellos:

- El inconveniente principal del coche eléctrico posiblemente sea su coste. Para una misma gama de coche, el precio del modelo eléctrico es más elevado.
- Es cierto que el coche eléctrico no genera emisiones ni partículas a nivel local, pero sí la electricidad utilizada en el proceso de recarga de la batería, ya que proviene de fuentes contaminantes, por lo que no se puede considerar que sea un transporte completamente limpio.
- El tiempo de recarga del coche eléctrico es mucho mayor en comparación con el coche convencional que es prácticamente inmediato.
- Aún no existen suficientes puntos de recarga debido a que aún es un producto en auge.
- La autonomía de los vehículos eléctricos es muy inferior a la del coche convencional.
- El precio de una reparación del vehículo eléctrico es mayor que el de uno convencional, debido a que es un producto novedoso y aún no existe un gran conocimiento de él.
- Otro aspecto importante a tener en cuenta es que si no se dispone de un punto de recarga cercano al hogar es aconsejable instalar una toma especial.

4. Análisis medioambiental de los vehículos

En este apartado se realiza un análisis medioambiental de las tres tipologías de turismos. Para realizarlo se considera que la huella ecológica de un turismo se divide en dos, la producción del vehículo y su uso. Esta afirmación en realidad no es del todo cierta ya que también se debería tener en cuenta el impacto que genera cuando ya no es posible utilizarlo y se reciclan sus partes para otras utilidades, sin embargo para el estudio que se realiza en los próximos apartados no se tiene en consideración.

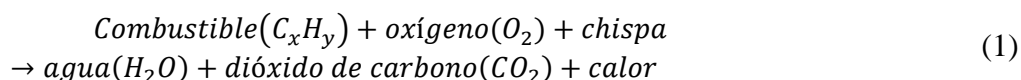
En este apartado también se realiza la modelización del coche eléctrico medio.

4.1 Coche convencional

La contaminación del turismo convencional debido a su manufactura no se tiene en cuenta en este trabajo debido a que no se integrarán nuevos coches convencionales y la contaminación en comparación a uno eléctrico es mínima. Por lo tanto, únicamente se debe considerar la contaminación en su desplazamiento.

El movimiento de un coche de combustión se realiza mediante la conversión de la energía química almacenada en el combustible en energía mecánica para mover las ruedas. La realización de este proceso genera dióxido de carbono (CO_2) además de otras partículas nocivas. A continuación, se explica el porqué de esta generación de dióxido de carbono.

La gasolina y el gasóleo son una combinación compleja de diversos tipos de moléculas de hidrocarburos (C_xH_y). El aire está compuesto normalmente por nitrógeno (N) y oxígeno (O_2). Una ecuación muy simple del proceso de combustión de un hidrocarburo es la siguiente:



En ésta no se tiene en cuenta el nitrógeno del aire ya que se pretende representar de una forma sencilla la reacción. En la ecuación se observa que el hidrógeno del combustible se combina con el oxígeno para generar agua. De la misma forma el carbono del combustible se combina con el oxígeno para generar dióxido de carbono. Y por último se genera calor que se transforma en energía mecánica.

Si ahora se realiza el estudio de la creación del CO_2 en la que únicamente influye el carbono y el oxígeno se observa que por el peso atómico de 12 del carbono se genera una molécula de peso atómico igual a 44 (1 átomo de carbono [12] + 2 átomos de oxígeno [$2 \times 16 = 32$]). Es decir, que por cada kg de carbono del combustible se generan 3,67 de CO_2 ($44/12$). Si se considera que un litro de gasolina contiene aproximadamente 0,63kg de carbono, se producen de forma teórica aproximadamente 2,3kg de CO_2 .

Una vez explicado de una forma básica la producción de CO_2 en el coche de gasolina se ha realizado una búsqueda de los valores de combustión en tubo de escape de los coches

de gasolina y gasóleo. Este valor se ha obtenido a partir de una fuente fiable como es el Instituto para La Diversificación y Ahorro de la Energía y es de 2,32kgCO₂/l en el caso de los coches gasolina y de 2,62 kgCO₂/l en los de gasóleo.[14] Estos valores se obtienen de la media de todos los vehículos de cada tipología.

Estos valores son los que producen estos vehículos cuando circulan, pero para ser más precisos es necesario saber de dónde provienen sus combustibles, es decir, realizar un estudio de la contaminación producida desde el pozo hasta el tanque (Análisis Well to Tank o WTT). Los valores que se utilizan son los presentes en el *Análisis de las emisiones de CO₂ en la producción de las fuentes energéticas utilizadas en el transporte por carretera*. [15] En el proceso de producción de los combustibles no solamente se obtiene el producto deseado, sino que también otros subproductos. En estos casos dicho análisis aplica la siguiente metodología:

- Toda la energía y emisiones generadas por el proceso se asignan al producto deseado o principal de dicho proceso.
- El subproducto genera un crédito de energía y de emisiones igual a la energía y emisiones ahorradas por la no producción del material que el subproducto sustituya.

El cálculo de CO₂ equivalente se obtiene de la siguiente formula:

$$CO_{2\text{ equivalente}} = [CO_2] + 21 \cdot [CH_4] + 310 \cdot [N_2O] \quad (2)$$

Los valores utilizados por el estudio son del *Análisis Well-to-Wheels de futuros combustibles de automoción y tecnologías en el contexto europeo* de EUCAR, CONCAWE, JRC (2007), del estudio ENERTRANS (2004-2007), y del estudio de CIEMAT (2006).

Los valores encontrados se presentan en formato de gramos de CO₂ equivalente por MJ de energía interior del combustible. En caso de la gasolina es de 10,96 gCO₂/MJ y del gasóleo 13,06 gCO₂/MJ. Realizando unos simples cambios de conversión se genera la tabla 4.1 donde se presenta el estudio de contaminación producida por un litro de combustible desde el pozo hasta el tubo de escape.

Tabla 4.1. Análisis Well to Tank de los combustibles empleados en los coches convencionales y la contaminación total del coche convencional. [15] [16]

Contaminación pozo a tanque		
	Gasolina	Gasóleo
CO _{2-eq} /MJ energía interior	10,96	13,06
PCI (kWh/kg)	12,19	11,8
Valor mínimo densidad	720	820
Valor máximo densidad	775	845
Valor medio densidad (kg/m ³)	747,5	832,5
MJ/l	35,15	35,36
gCO _{2-eq} /l	385,25	431,09
Contaminación por el tubo de escape		
kg CO ₂ /l	2,32	2,62
Contaminación total del vehículo convencional		
kgCO _{2-eq} /l	2,71	3,05

Debido a la metodología empleada en el estudio es necesario conocer el valor de contaminación en función de la distancia recorrida y no del volumen consumido. Para ello es necesario conocer la relación de consumo de combustible por kilómetro. En el caso de la gasolina por cada litro de combustible de media se realizan 13 kilómetros y en el caso del diésel 16. Con estos valores se construye la tabla 4.2 empleada en el estudio.

Tabla 4.2. Kilogramos de CO₂ equivalentes por kilómetro en función del combustible.

	Gasolina	Gasóleo
kgCO _{2-eq} /l	2,7052	3,0511
l/km	0,0769	0,0625
kgCO _{2-eq} /km	0,2081	0,1907

4.2 Coche eléctrico

Mientras que en el caso del coche convencional casi el 90% de las emisiones de efecto invernadero se producen en la operación del vehículo y no en su producción. En el caso del coche eléctrico recae un alto contenido de las emisiones totales del vehículo en el proceso de manufactura.

A diferencia del coche convencional el coche eléctrico no dispone de un tanque de gasolina, pero en su defecto consta de una batería. Este almacenaje de energía está compuesto de elementos altamente contaminantes.

La gran diferencia entre la producción de un coche eléctrico y uno convencional es el tipo y el tamaño de la batería requerida. Es por ello, que en este documento únicamente se tiene en cuenta la contaminación generada por la batería del coche eléctrico ya que se considera que es el único elemento que diferencia de una forma significativa la contaminación en la producción. Para los coches convencionales se supone que la

contaminación en la producción es 0 y en los coches eléctricos es de $150\text{kgCO}_2\text{ eq/kWh}$ en el mejor de los casos y de $200\text{kgCO}_2\text{ eq/kWh}$ en el peor de los casos.[17]

La tecnología del coche eléctrico está actualmente en desarrollo y es por ello que se ha realizado una búsqueda de las ventas en el mercado español para conocer la tendencia actual y poder realizar un modelo de coche eléctrico tipo. Esta información se ha encontrado en la página web movilidad eléctrica.[18] Movilidad eléctrica presenta en una tabla los datos obtenidos de ANICAM (Asociación Nacional de Importadores de Automóviles, Camiones, Autobuses y Motocicletas) y ADEIVE (Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso del Vehículo Eléctrico). Una vez conocido la tipología de coches que se vendieron en el 2017 en España se ha realizado una búsqueda de la energía que almacena la batería y la autonomía de cada modelo de coche. Con la combinación de estos datos se ha obtenido la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Ventas y características del coche eléctrico en España en el 2017.

Marca	Modelo	Unidades	Energía batería (kWh)	Autonomía (km)	kWh/100km
Renault	Zoe	1327	41	403	10,2
Nissan	Leaf	530	40	378	10,6
Bmw	I3	497	33	300	11,0
Smart	Smart/fortwo	418	17,6	160	11,0
Tesla	Model s	225	75	551,5	13,6
Volkswagen	Golf	176	35	279	12,7
Tesla	Model x	162	100	565	17,7
Citroen	C-zero	160	14,5	150	9,7
Hyundai	Ioniq	129	28	280	10,0
Smart	Forfour	113	17,6	155	11,4
Kia	Soul	97	27	212	12,7
Peugeot	Ion	29	14,5	150	9,7
Volkswagen	Up!	21	18,7	160	11,7
Citroen	E-mehari	12	30	200	15,0
Mercedes	Clase b	12	28	200	14,0
Seat	Mii	11	18,7	160	11,7
Ford	Focus	1	33,5	225	14,9
MEDIA			38,51	339	11,4

Una vez se tiene este valor se puede relacionar el tamaño de su batería con la cantidad de emisiones que genera en su producción. Estos valores se presentan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Contaminación de las baterías de los coches eléctricos vendidos en España en 2017.

Marca	Modelo	Energía batería (kWh)	kg CO ₂ -eq-max	kg CO ₂ -eq-mín
Renault	Zoe	41	8.200	6.150
Nissan	Leaf	40	8.000	6.000
Bmw	I3	33	6.600	4.950
Smart	Smart/fortwo	17,6	3.520	2.640
Tesla	Model s	75	15.000	11.250
Volkswagen	Golf	35,43	7.086,6	5.314,9
Tesla	Model x	100	20.000	15.000
Citroen	C-zero	14,5	2.900	2.175
Hyundai	Ioniq	28	5.600	4.200
Smart	Forfour	17,6	3.520	2.640
Kia	Soul	27	5.400	4.050
Peugeot	Ion	14,5	2.900	2.175
Volkswagen	Up!	18,7	3.740	2.805
Citroen	E-mehari	30	6.000	4.500
Mercedes	Clase b	28	5.600	4.200
Seat	Mii	18,7	3.740	2.805
Ford	Focus	33,5	6.700	5.025
MEDIA		39	7.702	5.777

Una vez realizados estos cálculos se construye la tabla 4.5 con los valores característicos del coche eléctrico tipo empleado en el estudio.

Tabla 4.5. Características del coche eléctrico tipo empleado en el estudio.

Energía batería (kWh)	39
Autonomía (km)	339
kWh/100km	11,4
kg CO ₂ -eq-máx	7.702
kg CO ₂ -eq-mín	5.777

La contaminación del coche eléctrico por circulación se expresa de la misma forma que la de los coches convencionales en kgCO₂/km. En la tabla 4.5 se presenta la energía de la batería que se emplea a los 100 kilómetros de recorrido del vehículo. Este valor no es el que se busca ya que se debe tener en cuenta el rendimiento del proceso de recarga del coche eléctrico. Este valor ha sido obtenido de la página web de Endesa dedicada al vehículo eléctrico. En ella se observa una comparativa de eficiencias entre el coche convencional y el coche eléctrico. De ésta se ha obtenido que el valor de eficiencia del proceso de recarga es del 92%, y así se ha corregido la energía de la batería necesaria para realizar 100 kilómetros. La forma de realizarlo ha sido dividir entre 0,92 el valor anterior.[19] De esta forma se ha obtenido la energía demandada a la red en bornes del

cargador eléctrico siendo ésta de 12,35 kWh a los 100 kilómetros. Para conocer la contaminación realizada por un coche eléctrico es necesario conocer la contaminación producida por las centrales de generación eléctrica.

Las emisiones producidas por las centrales de generación eléctrica varían en función de las hipótesis que se plantean en los dos estudios que se realizan en los próximos apartados.

5. Generación de energía eléctrica

La integración del coche eléctrico producirá un aumento en la demanda de energía eléctrica del territorio español. Esta demanda se satisface a partir de diferentes tipologías de centrales de generación eléctrica. Cada una de ellas presenta una potencia instalada, pero esto no representa a la energía producida a nivel anual. En la tabla 5.1 se presenta la potencia instalada de cada tipología en el año 2016 y en la tabla 5.2 la energía producida según tipología en el año 2016.[20]

Tabla 5.1. Potencia instalada en España en el año 2016 clasificada por tipología.

	Potencia (MW)	Porcentaje del total (%)
Hidráulica	20.353	19,33
Nuclear	7.573	7,19
Carbón	10.004	9,50
Fuel/gas	2.490	2,37
Ciclo combinado	26.670	25,33
Hidroeléctrica	11	0,01
Eólica	23.057	21,90
Solar fotovoltaica	4.674	4,44
Solar térmica	2.299	2,18
Otras renovables	749	0,71
Cogeneración	6.645	6,31
Residuos	754	0,72
TOTAL	105.279	

Tabla 5.2. Energía generada en España en el año 2016 clasificada por tipología.

	Energía (GWh)	Porcentaje del total (%)
Hidráulica	39.171	14,94
Nuclear	56.099	21,40
Carbón	37.491	14,30
Fuel/gas	6.765	2,58
Ciclo combinado	29.260	11,16
Hidroeléctrica	18	0,01
Eólica	47.695	18,19
Solar fotovoltaica	7.965	3,04
Solar térmica	5.060	1,93
Otras renovables	3.426	1,31
Cogeneración	25.817	9,85
Residuos	3.392	1,29
TOTAL	262.161	

En la tabla 5.1 se puede observar como en el territorio español hay un total de 105.279MW de potencia instalada. Este valor es muy superior a la máxima potencia

instantánea demandada en el territorio español de la historia, siendo este valor de 45.450MW.[21]

La tipología con más importancia es la de ciclo combinado teniendo un 25,33% del total. Observando la tabla 5.2 se puede afirmar que la potencia instalada no determina la energía que se produce, ya que el ciclo combinado ha producido un 11,16% del total de la energía. Esto es debido al funcionamiento del mercado eléctrico que se explica más detalladamente en el apartado 6.

En la tabla 5.2 se puede observar que la energía total generada en el sistema eléctrico español en el 2016 es de 262.161 GWh. Este valor no es exactamente el valor total demandado, a este se le debe sumar un intercambio internacional de 7.667 GWh y restarle 4.819 GWh debido a la energía empleada en las centrales hidráulicas de bombeo. La demanda final del sistema eléctrico español en 2016 es de 265.009 GWh siendo éste un 0,7% superior al año anterior. Se puede observar en la tabla 5.2 que la energía renovable representa un 41,8% de la producción de energía, por encima del año anterior que fue de 36,9%. Otro dato remarcable del año 2016 es que la producción con centrales térmicas de carbón fue un 30,9% inferior al del año anterior, hecho que ha reducido considerablemente la contaminación global anual. En 2016 se registró el número más bajo de emisiones de CO₂ a causa de la producción de energía eléctrica de los últimos 10 años. Siendo este valor de 63,5 millones de toneladas de CO₂ un 18,3% inferior al 2015 y un 43,1% inferior del 2007.

5.1 Contaminación asociada a la electricidad

Actualmente la energía generada en el sistema eléctrico español va asociada a un factor de emisión de CO₂ debido a las características de algunas tipologías de generación. A continuación en la tabla 5.3 se presenta un resumen de las toneladas de CO₂ generadas por tipología desde el 2013 hasta el 2016. También se presenta el factor de emisión que relaciona el conjunto total de emisiones de CO₂ y la energía total generada.

Tabla 5.3. Contaminación asociada en la producción de energía eléctrica por año.

	2013	2014	2015	2016
Carbón	37.551.186	41.154.288	50.149.589	35.616.709
Fuel/gas	5.491.082	5.102.790	5.257.557	5.491.480
Ciclo combinado	11.547.529	10.635.491	12.154.925	12.069.345
Térmica renovable	861.146	802.056	0	0
Cogeneración	11.921.983	9.546.802	9.416.313	9.552.357
Residuos	0	0	791.558	814.167
Total Emisiones (tCO₂)	67.372.926	67.241.427	77.769.941	63.544.058
Factor emisión (tCO₂/MWh)	0,246	0,252	0,290	0,242

A la hora de realizar las comparaciones es necesario conocer el factor de emisión promedio en los últimos cuatro años, siendo éste de 0,258. En la figura 5.1 se observa la tendencia a la baja de este factor de emisiones.

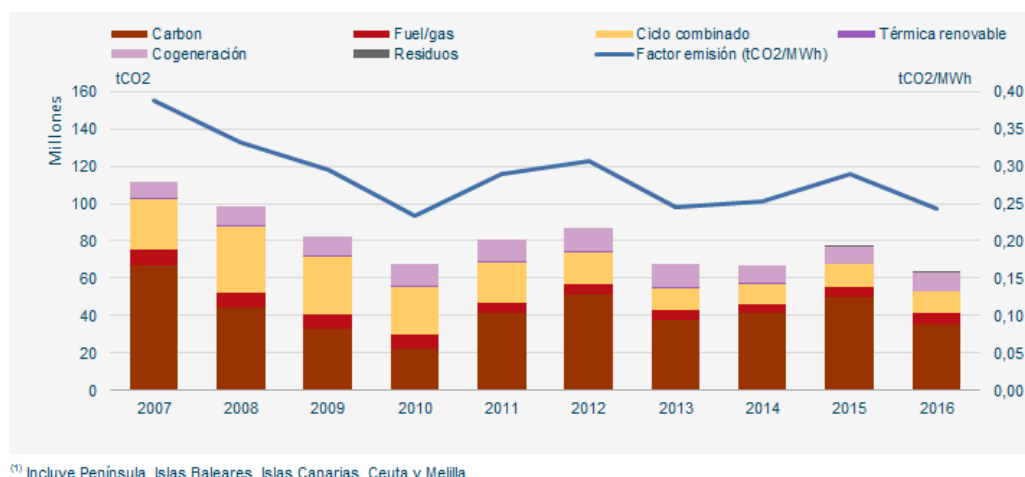


Figura 5.1. Factor de emisión y toneladas de CO₂ generadas en el sistema eléctrico español.

5.2 Pérdidas en el transporte

El transporte de la energía eléctrica se realiza mediante largas distancias de cableado eléctrico. Estas distancias junto a los elementos de adecuación de la energía conllevan una pérdida de la energía generada. Por lo tanto, la demanda de los consumidores no es de 265.009 GWh sino que es algo inferior debido a las pérdidas. El valor de éstas es muy dispar y se ha considerado correcto un valor del 5% ofrecido por la compañía Endesa.[19] Por lo tanto la energía que llegó finalmente a los consumidores fue de 249.108 GWh. Al valor de energía demandada por el vehículo eléctrico del apartado 4.2 se le aplica el valor de eficiencia del transporte de energía eléctrica. La energía necesaria de la batería no es de 12,35 kWh a los 100 kilómetros como se ha comentado en el apartado de análisis medioambiental sino que es de 13,00 kWh a los 100 kilómetros. A continuación en la tabla 5.4 se presenta el resumen de las demandas del coche eléctrico en la batería, en bornes del cargador y en la red de transporte.

Tabla 5.4. Energía demandada por el coche eléctrico en diferentes puntos. (kWh/100km).

Demanda coche	11,36
Demanda cargador	12,35
Demanda red	13,00

6. Mercado eléctrico español

En este apartado se va explicar cómo está estructurado el mercado eléctrico español y cuáles con los principales agentes que actúan en él para comprobar cómo pueden afectar éstos en la tipología de energía generada y en consecuencia la contaminación.

En el año 1997 el gobierno de España aprueba la Ley 54/1997 de 27 de noviembre del Sector Eléctrico por el que se liberaliza el mercado eléctrico en nuestro país siguiendo la directiva europea 96/92/CE. Una vez entró en vigor esta ley supuso el inicio del proceso de liberalización progresiva del sector mediante el establecimiento de un mercado organizado de negociación de la energía y la reducción de la intervención pública en la gestión del sistema.

Actualmente la Ley que regula el sector eléctrico es la 24/2013 de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. En esta Ley se introducen entre otras medidas un aumento de la competencia de las comercializadoras de referencia, mejorando la posición del consumidor en cuanto a la información disponible y facilitando los procesos de cambio de suministrador. [22]

El suministro de energía eléctrica se entiende como la entrega de la energía desde su producción hasta el cliente final, pasando por las redes de transporte y distribución. El sistema eléctrico en nuestro país queda dividido en las siguientes actividades principales:

Generación:

Consiste en la producción de energía eléctrica.

Transporte:

Consiste en la transmisión de energía eléctrica por la red de transporte, desde la generación hasta los distintos sujetos y/o la realización de intercambios internacionales. Existen dos redes de transporte la primaria, tensión mayor o igual a 380kV, y la secundaria, hasta 220kV.

Distribución:

Consiste en la transmisión de energía eléctrica desde el transporte o generación hasta los puntos de consumo en las adecuadas condiciones de calidad para los consumidores.

Comercialización:

Consiste en la compra-venta de la energía transportada por las redes de transporte y distribución.

6.1 Funcionamiento del mercado eléctrico español:

El mercado al por mayor (al contado o “spot”) de electricidad en la Península Ibérica está gestionado por OMIE. Este mercado permite la compra y venta de electricidad

entre los agentes (productores, grandes consumidores, comercializadoras, entre otros) a un precio conocido, transparente y accesible.

Existen dos tipos de mercados el diario y el intradiario. El primero se trata de la fijación diaria de los precios de la luz a las 12:00 horas para las veinticuatro horas del día siguiente. Para conocer el precio y el volumen de energía a una hora determinada se sigue un modelo adoptado por la UE que se basa en un algoritmo conocido como EUPHEMIA. Este algoritmo realiza el cruce entre la oferta y la demanda y fija el precio y el volumen de energía a cada hora.

Este algoritmo presenta el resultado más eficiente desde el punto de vista económico, pero es necesario tener en cuenta las características técnicas. Para comprobar que desde un punto de vista físico es viable la casación realizada por el algoritmo, los resultados son enviados al Operador del Sistema, encargado de dar el visto bueno a la viabilidad técnica. Este proceso se denomina gestión de las restricciones técnicas del sistema y asegura que la red de transporte pueda soportar la carga. Una vez las casaciones pasan por el Operador del Sistema los resultados del mercado diario varían un 4 o 5% y da lugar a un programa diario viable.

El mercado intradiario se trata de un lugar donde después de haberse realizado el mercado diario se realizan distintas sesiones de contratación unas horas antes del tiempo real. Existen 6 sesiones de contratación que funcionan de la misma forma que el mercado diario. Este mercado permite a los agentes compradores y vendedores reajustar los valores que marcaron en el mercado diario hasta cuatro horas antes del tiempo real. [22]

Se observa que de esta forma la composición del mix energético varía en función de las estrategias económicas empleadas por los generadores (venta) y los consumidores (compra). Además también influyen los agentes atmosféricos ya que un generador eólico no podrá generar si no hay la suficiente fuerza del viento igual que los generadores solares si hay ausencia de radiación solar. Por lo tanto se concluye que el mix energético tal y como se constituye es muy complicado de predecir y un estudio muy preciso de éste se sitúa fuera del alcance de este trabajo. Por esta razón en los apartados en que es necesario conocer la curva de generación de energía actual y la curva de generación con un aumento de energía, se han realizado de una forma más simple pero correcta para el alcance del trabajo.

7. Integración coche eléctrico en el mix energético actual

En este apartado se realiza un estudio de la contaminación producida por la integración del coche eléctrico en el contexto del mix energético actual. Este estudio se realiza para una integración del vehículo eléctrico del 1%, 2% y 5%.

La hipótesis que se ha empleado para la incorporación del turismo eléctrico es que no se realiza de una forma dinámica a lo largo de los años sino que se realiza de una forma directa, ya que el objetivo es conocer las diferencias a nivel medioambiental que existirían si en la actualidad se tuvieran estos porcentajes de movilidad eléctrica.

En el apartado del estudio medioambiental del coche eléctrico se ha comentado que la contaminación causada por la conducción de esta tipología de automóvil varía en función de las hipótesis realizadas en cada uno de los estudios. En este apartado el objetivo es conocer el balance de emisiones si el mix energético es el actual, sin un aumento de demanda de energía por parte de estos vehículos. Esto se traduce en conocer el factor de emisiones (tCO_2/MWh) por parte de la generación de energía eléctrica. Este valor es posible encontrarlo en los informes publicados por Red Eléctrica Española. La relación de contaminación por unidad de energía generada varía cada año en función de las tipologías que han entrado en acción y de la importancia total sobre el global. Para que este valor sea lo más real posible se ha realizado, en apartados anteriores, un promedio de esta relación entre el 2013 y el 2016 ambos incluidos.

De esta forma se obtiene la tabla 7.1 de contaminación del vehículo eléctrico:

Tabla 7.1. Emisiones de CO_2 equivalente debido a la conducción del turismo eléctrico.

kWh/km	0,1300
kgCO₂/kWh	0,2577
kgCO_{2-eq}/km	0,0335

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para el estudio se procede a realizar un cálculo de la contaminación actual sin integración. La forma de proceder es multiplicar la cantidad de coches de cada tipología por su relación de contaminación (kgCO_2/km) y por la distancia media anual recorrida. De esta forma se obtiene la tabla 7.2.

Tabla 7.2. Contaminación del parque automovilístico actual en kgCO_2 .

Contaminación coches gasolina	26.487.329.505
Contaminación coches diésel	32.226.062.415
Contaminación coches eléctrico	6.444.660
Contaminación total	58.719.836.581

Una vez conocida la contaminación en la actualidad, se puede proceder a realizar el cálculo en el que existe integración del coche eléctrico. Una de las hipótesis que se ha realizado es que por cada nuevo coche eléctrico que se integre se desmatriculará un coche convencional, por lo tanto el número de coches total será siempre el mismo. Para

conseguirlo primeramente se calcula el número de nuevos coches eléctricos y seguidamente se multiplica este valor por el porcentaje de coches de gasolina o diésel sobre los coches convencionales en la actualidad. El resultado de la multiplicación nos da el número de coches desmatriculados de cada tipología. Una vez conocida la nueva cantidad de coches de cada clase se procede de la misma forma que en la tabla 7.2 y se calcula el valor de la contaminación por circulación del nuevo parque. Seguidamente se realiza un cálculo de la diferencia entre este nuevo valor de contaminación total y la contaminación total del parque automovilístico actual (sin integración). Este valor es negativo si existe una reducción de contaminación y positivo si aumenta la contaminación.

A continuación se realiza el cálculo de la contaminación por parte de las baterías de los nuevos vehículos eléctricos incorporados que es compensada por la reducción de contaminación anual en la circulación. Para conocer en qué punto se puede considerar que el coche eléctrico ha compensado su contaminación inicial, y por lo tanto empezará a reducir la contaminación en los siguientes años, se realiza el cociente entre la contaminación por parte de las baterías (caso máximo y mínimo) entre la diferencia de la contaminación por circulación. Con este cálculo se obtiene el resultado en forma de años; para tener una visión más clara se han multiplicado estos años por la distancia media recorrida por un vehículo, obteniendo así la distancia necesaria a recorrer para eliminar la contaminación de las baterías. En los siguientes subapartados se presentan los resultados de los cálculos para los diferentes valores de integración.

7.1 Integración del 1%

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en la integración de un 1% del vehículo eléctrico en el contexto del mix energético actual.

Los primeros resultados obtenidos son los del nuevo parque automovilístico. Se puede observar que el número de coches eléctricos nuevos es bastante más elevado que el inicial, se ha pasado de una cantidad algo inferior a los 15.000 vehículos a incorporar 213.899 coches eléctricos nuevos. Como una de las hipótesis es que el número total de vehículos del parque no se modifique, se han desmatriculado 91.893 coches de gasolina y 122.006 de la tipología diésel.

Se observa que la contaminación derivada de la fabricación de las baterías es de 1.647.504.751 kgCO₂ en el peor de los casos y de 1.235.628.564 kgCO₂ en el mejor de los casos. Estos valores son muy elevados y si en la realidad existiese la posibilidad de realizar este cambio en el parque automovilístico de un año para otro, representaría un elevado impacto para el ecosistema. Sin embargo, este valor de contaminación debido a la manufactura de las baterías se ve compensado con la disminución en las emisiones debidas a la circulación. Anualmente se reduce un total de 456.516.067 kgCO₂ y en el peor de los casos en poco más de tres años y medio, o expresado de otra forma 46.775 kilómetros recorridos, se verá recuperado el saldo ecológico y se comenzará a reducir la contaminación global. En el mejor de los casos el tiempo en compensar las emisiones generadas en la fabricación es de un poco más de dos años y medio o 35.081 kilómetros

recorridos. A continuación en la tabla 7.3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 7.3. Tabla resumen de los resultados obtenidos en la integración de un 1% del vehículo eléctrico en el contexto del mix energético actual.

Contaminación con la integración del			1%
Coches gasolina	9.728.660	Coches gasolina desmatriculados	91.893
Coches diésel	12.916.657	Coches diésel desmatriculados	122.006
Coches eléctricos	228.741	Coches eléctricos nuevos	213.899
Contaminación por circulación (kgCO ₂)		Contaminación de las baterías(kgCO ₂)	
Contaminación coches de gasolina	26.239.481.938	Contaminación máxima	1.647.504.751
Contaminación coches diésel	31.924.515.165	Contaminación mínima	1.235.628.564
Contaminación coches eléctrico	99.323.411		
Contaminación total	58.263.320.514	Energía eléctrica demandada (GWh/año)	385,46
Diferencia sin integración	-456.516.067		
Años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería			
Años en compensar	3,61	Km/coche	46.774
Años en compensar	2,71	Km/coche	35.081

Se puede observar que si las hipótesis se cumplen, la integración del coche eléctrico es positiva ya que en el peor de los casos a los tres años y medio se recupera la contaminación inicial y se empieza a reducir la contaminación a un ritmo de 456.516.067 kgCO₂ anuales. Se ha considerado que la vida útil de los nuevos turismos eléctricos es de 12 años, al igual que la edad media del parque automovilístico actual. Si a los tres años y medio se compensa la contaminación de la producción de las baterías significa que durante aproximadamente ocho años y medio se reduce un total de 3.830.688.051 kgCO₂. Este valor se obtiene de la diferencia entre la edad media del parque y el tiempo necesario en realizar un balance 0, multiplicada por la tasa de reducción de emisiones anual. Si en cambio la contaminación de las baterías es la mínima el valor de reducción total a lo largo de la vida del coche eléctrico es de 4.242.564.239 kgCO₂.

7.2 Integración del 2%

En el caso de una integración del 2% la cantidad de turismos eléctricos nuevos es de 442.639. Las baterías de éstos producen un total de 3.409.318.677 kgCO₂ en su producción en el peor de los casos y 2.556.989.008 kgCO₂ en el mejor de los casos. Debido a la conducción de los vehículos del parque automovilístico, anualmente se reduce un total de 944.706.724 kgCO₂ capaces de compensar la contaminación de la producción de las baterías en poco más de tres años y medio o 46.774 kilómetros recorridos en el peor de los casos y en el mejor de los casos en algo más de dos años y medio o 35.081 kilómetros recorridos.

Tabla 7.4. Tabla resumen de los resultados obtenidos en la integración de un 2% del vehículo eléctrico en el contexto del mix energético actual.

Contaminación con la integración del			2%
Coches gasolina	9.630.391	Coches gasolina desmatriculados	190.162
Coches diésel	12.786.186	Coches diésel desmatriculados	252.477
Coches eléctricos	457.481	Coches eléctricos nuevos	442.639
Contaminación por circulación (kgCO ₂)		Contaminación de las baterías (kgCO ₂)	
Contaminación coches de gasolina	25.974.437.456	Contaminación máxima	3.409.318.677
Contaminación coches diésel	31.602.046.014	Contaminación mínima	2.556.989.008
Contaminación coches eléctrico	198.646.387		
Contaminación total	57.775.129.858	Energía eléctrica demandada(GWh/año)	770,9
Diferencia sin integración	-944.706.724		
Años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería			
Años en compensar	3,61	Km/coche	46.774
Años en compensar	2,71	Km/coche	35.081

Debido al aumento de turismos eléctricos, una vez compensada la contaminación de la producción de las baterías, la reducción de emisiones a lo largo de la vida del coche eléctrico es de 7.927.162.005 kgCO₂ en el peor de los casos y de 8.779.491.675 kgCO₂ en el mejor de los casos.

7.3 Integración del 5%

En el caso de una integración del 5% la cantidad de turismos eléctricos nuevos es de 1.128.861. La producción de las baterías produce un total de 8.694.775.858 kgCO₂ en el peor de los casos y 6.521.081.893 kgCO₂ en el mejor de los casos. Debido a la conducción de los vehículos del parque automovilístico, anualmente se reduce un total de 2.409.282.994 kgCO₂ capaces de compensar la contaminación de la producción de las baterías en poco más de tres años y medio o 46.774 kilómetros recorridos en el peor de los casos y en el mejor en algo más de dos años y medio o 35.081 kilómetros recorridos.

Tabla 7.5. Tabla resumen de los resultados obtenidos en la integración de un 5% del vehículo eléctrico en el contexto del mix energético actual.

Contaminación con la integración del			5%
Coches gasolina	9.335.583	Coches gasolina desmatriculados	484.970
Coches diésel	12.394.772	Coches diésel desmatriculados	643.891
Coches eléctricos	1.143.703	Coches eléctricos nuevos	1.128.861
Contaminación por circulación (kgCO ₂)		Contaminación de las baterías (kgCO ₂)	
Contaminación coches de gasolina	25.179.301.313	Contaminación máxima	8.694.775.858
Contaminación coches diésel	30.634.636.089	Contaminación mínima	6.521.081.893
Contaminación coches eléctrico	496.616.185		
Contaminación total	56.310.553.588	Energía eléctrica demandada(GWh/año)	1.927,29
Diferencia sin integración	-2.409.282.994		
Años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería			
Años en compensar	3,61	Km/coche	46.774
Años en compensar	2,71	Km/coche	35.081

Debido al aumento de turismos eléctricos, una vez compensada la contaminación de la producción de las baterías, la reducción de emisiones a lo largo de la vida útil del coche eléctrico es de 20.216.620.066 kgCO₂ en el peor de los casos y de 22.390.314.031 kgCO₂ en el mejor de los casos.

7.4 Integración de un coche eléctrico

Se observa que en los tres casos el tiempo de compensación de las emisiones producidas en la manufactura de las baterías es el mismo. Esto es debido a que con las hipótesis que se han impuesto, un coche eléctrico equivale a un 43% de un coche de gasolina y un 57% a un coche de gasóleo. Por lo tanto al disponer de unos valores fijos de contaminación para cada tipología de coche la distancia necesaria a recorrer siempre es la misma.

Este cálculo es fácil de demostrar, para ello se realiza el cálculo de la contaminación del coche eléctrico, gasolina y gasóleo.

$$\begin{aligned}
 \text{Cont. elect.} &= \text{dist}_{\text{anual}} \times \text{kgCO}_{2\text{ve}} = 12961 \times 0,0354 = 458,91 \text{ kgCO}_2 \\
 \text{Cont. gas.} &= 0,43 \times \text{dist}_{\text{anual}} \times \text{kgCO}_{2\text{vgas}} = 0,43 \times 12961 \times 0,208 = 1.409,76 \text{ kgCO}_2 \\
 \text{Cont. diesel} &= 0,57 \times \text{dist}_{\text{anual}} \times \text{kgCO}_{2\text{vdie}} = 0,57 \times 12961 \times 0,191 = 1.158,71 \text{ kgCO}_2
 \end{aligned} \tag{1}$$

Seguidamente se realiza el cálculo de la contaminación que nos ahorramos con la circulación del vehículo eléctrico a partir de la siguiente ecuación.

$$\text{Tasa reducción} = \text{Cont. elect.} - \text{Cont. gas} - \text{Cont. diesel} = -2.568,44 \tag{2}$$

Este valor es el encargado de compensar la contaminación producida por la producción de la batería. Seguidamente se realiza el cociente entre el valor de contaminación de la

batería y la tasa de reducción con el objetivo de encontrar el tiempo de compensación de emisiones de producción.

Con lo que se consigue el valor de 3,61 años en el peor de los casos y 2,71 años en el mejor de los casos. Por lo tanto se considera que la integración del coche eléctrico es positiva.

8. Integración en función del tipo de recarga

En el anterior apartado se ha realizado un estudio en el que se tiene en cuenta los valores de contaminación anuales. Esta forma de proceder no es la más correcta, ya que se debe tener en cuenta el incremento de energía eléctrica demandada por los nuevos coches eléctricos y las horas en las que se recarga la batería. Para realizar este cálculo se ha empleado un día tipo medio y otro máximo de los últimos años. Los dos días de referencia se han realizado a partir de la energía demandada diariamente desde el año 2013 hasta el 2016. Una vez obtenidos estos datos se ha realizado un histograma con el fin de encontrar los valores que se encuentran en la zona central y los que se encuentran en la zona más situada a la derecha. De esta forma se ha construido la gráfica de la figura 8.1:

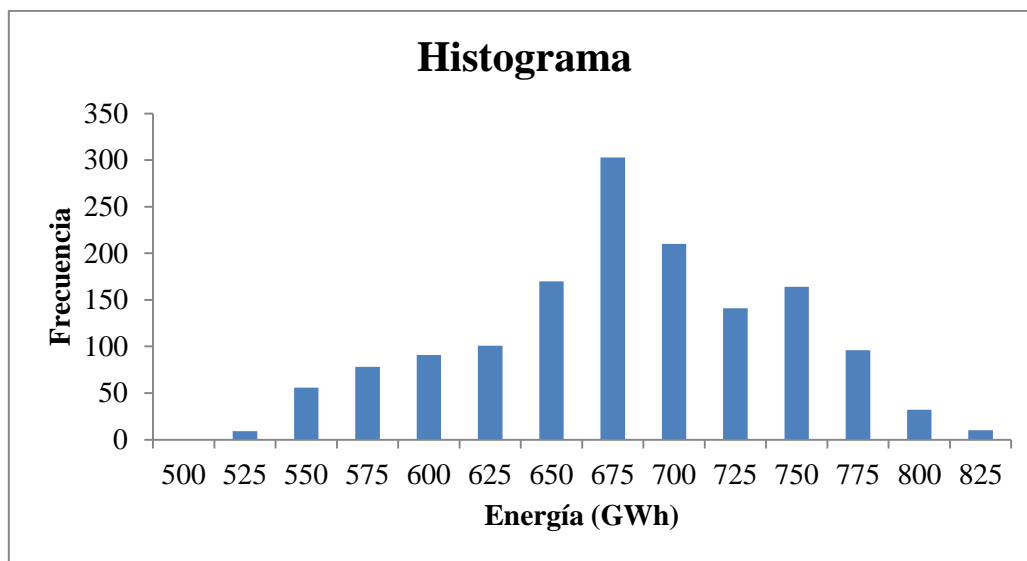


Figura 8.1. Histograma de energía demandada diaria en España del 2013 al 2016.

En la gráfica anterior se puede observar que los valores que más se repiten a lo largo de los últimos años son de 675GWh a 700GWh con una frecuencia de 303, y que los máximos los encontramos por encima de los 750GWh teniendo una frecuencia de 138.

Una vez conocido el intervalo en el que se considera un día medio (675 GWh-700GWh) y el máximo (más de 750GWh), la forma de proceder ha sido la siguiente: Se han escogido de forma aleatoria 30 días de cada uno de los intervalos y se ha recogido la información de producción y contaminación.

Los valores son proporcionados por la base de datos de la Red Eléctrica Española.[23] La forma de presentar los datos por parte de REE es cada diez minutos y dividiendo, tanto la producción como la contaminación, en las diferentes tipologías de producción de energía (Nuclear, Fuel/gas, Carbón, Ciclo Combinado, Hidroeléctrica, Eólica, Cambios internacionales, Conexión con las Baleares, Solares, Cogeneración y RSU, estas últimas nombradas como otras renovables.)

Una vez obtenidos todos los valores se ha realizado un promedio de los 30 valores de cada día tipo por tipología y hora. Obteniendo las gráficas de generación y contaminación diaria de cada uno de los días tipo.

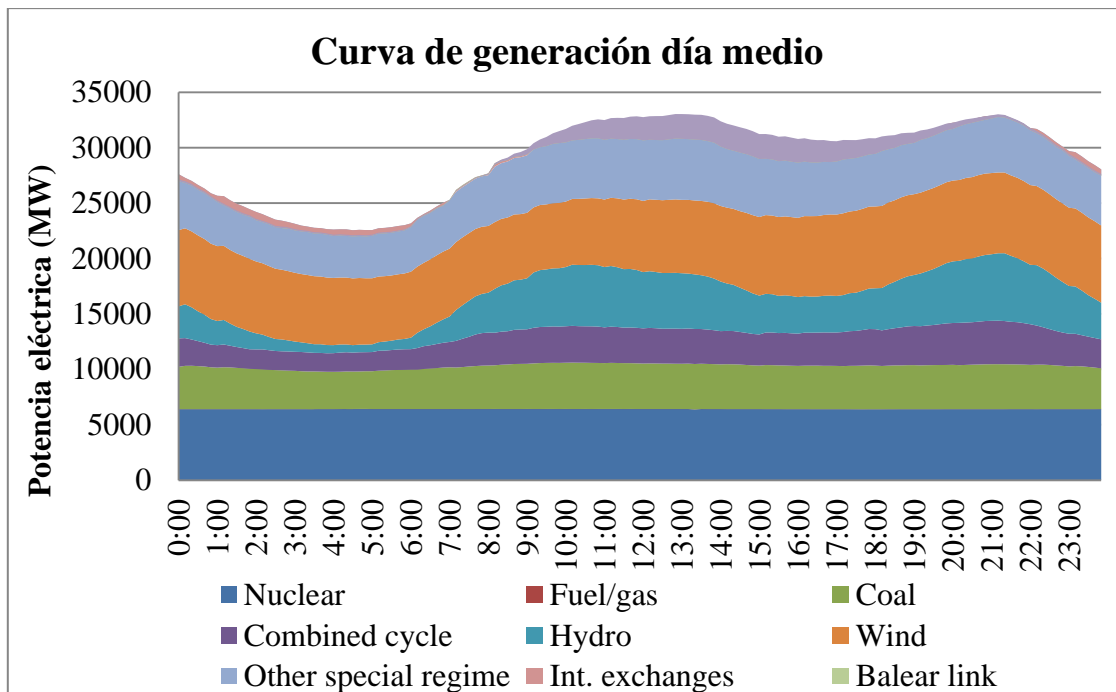


Figura 8.2. Curva de generación día tipo medio.

En la figura 8.2 se puede observar claramente dos picos de demanda de energía, estos coinciden con el medio día y por la noche aproximadamente a las horas de comer y cenar. En estos picos la potencia eléctrica máxima demandada es de aproximadamente 32.500 MW. Otra característica principal es que por la noche hay un valle en la demanda, este valle es un problema y se debe intentar aplanar para así conseguir más estabilidad en la operación del sistema. Se puede observar la existencia de dos tipologías de central que no varían la energía producida a lo largo del día. Éste es el caso de las centrales nucleares y de carbón. Esto es debido a que en el mercado eléctrico se ofertan a un valor muy bajo porque no pueden parar sus generadores debido a las características de la central. Las centrales nucleares únicamente paran sus motores para realizar mantenimiento y recarga de combustible porque los procesos de parada y arranque son muy lentos.

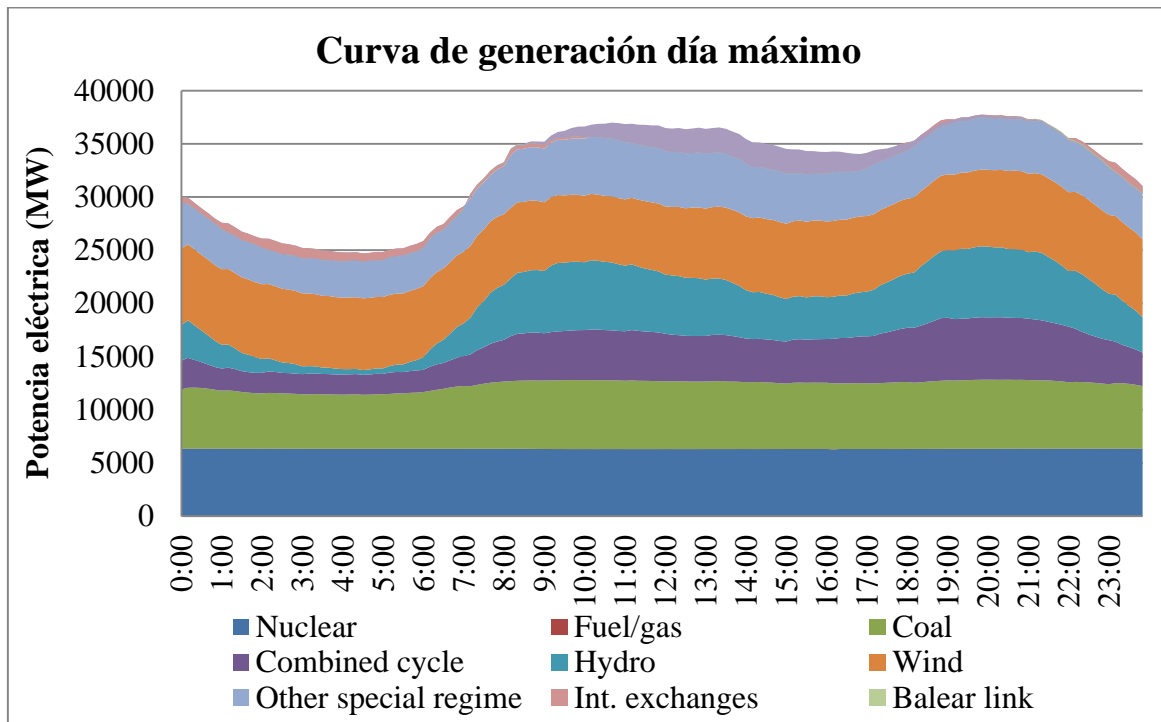


Figura 8.3. Curva de generación día tipo máximo.

Igual que en la curva de generación del día tipo medio, en la del día máximo se observan dos picos y un valle de demanda. En este caso los valores de potencia máxima demandada son de aproximadamente unos 37.500MW.

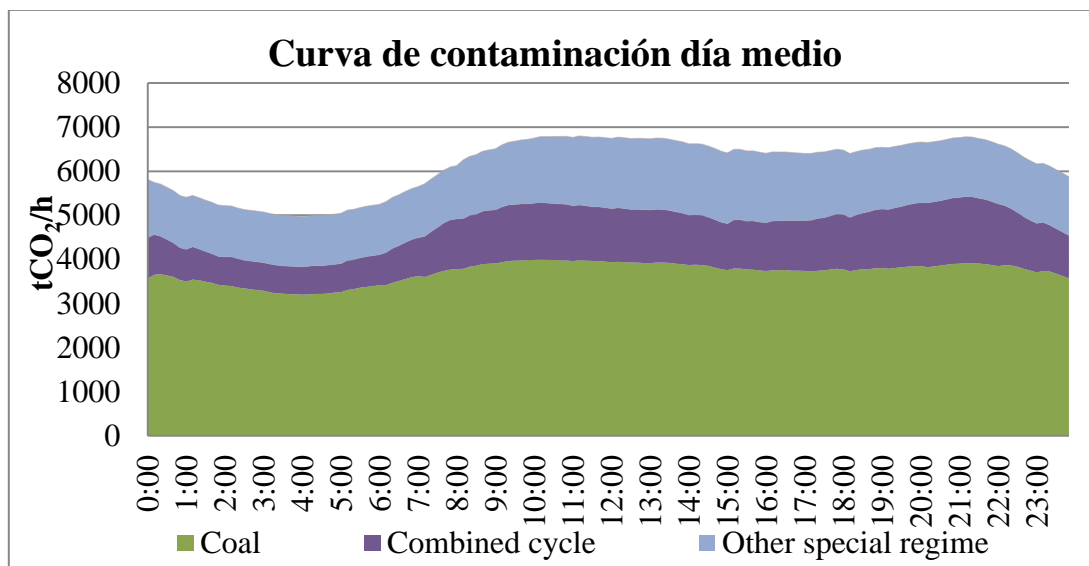


Figura 8.4. Curva de contaminación día tipo medio.

En la figura 8.4 se presenta la curva de contaminación del día tipo medio que es muy parecida a la demanda pero con los picos más suavizados. Se observa que las centrales de carbón son las que comportan una contaminación más elevada sobre el conjunto.

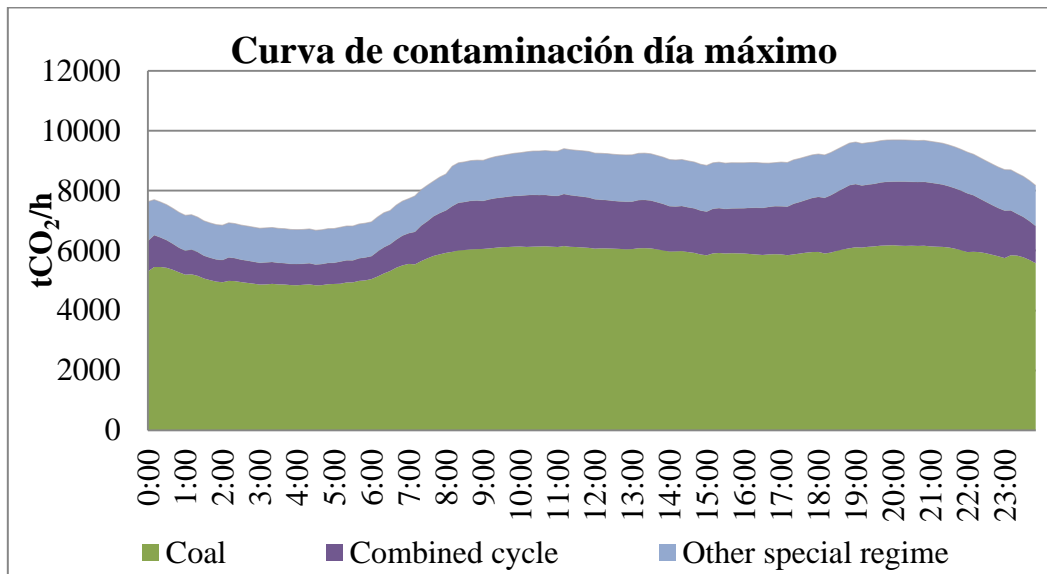


Figura 8.5. Curva de generación día tipo máximo.

En la figura 8.5 se observa que la contaminación ha aumentado debido a una demanda más elevada del día tipo máximo.

Una vez obtenido estas gráficas con sus respectivos valores diezminutales es posible realizar diversos escenarios en los que la recarga se realiza de una forma u otra.

El vehículo eléctrico es una gran oportunidad para la operación del sistema eléctrico ya que si se realiza una carga inteligente servirá para estabilizar el sistema. La carga inteligente consistirá en recargar la batería en las horas en las que la demanda es menor, es decir por la noche, en el valle. A estas horas la energía eólica en muchas ocasiones se debe parar y no es aprovechada debido a que no existe demanda a cubrir.

Si se realiza de esta forma se obtendrá un aplanamiento del valle nocturno de la curva de demanda eléctrica que conllevará a una mayor eficiencia del sistema, una mayor integración de las renovables (las centrales eólicas no dejarían de producir si hay existencia de viento), mayor operatividad del sistema (la batería del vehículo eléctrico podrá servir como sistema de almacenaje del sistema), y la recarga de los vehículos se realizará con un alto porcentaje de energía limpia.

En cambio si la recarga se realiza en las horas punta sin gestión inteligente existirá un sobredimensionamiento del sistema de transporte y generación, será ineficiente y no favorecerá la integración de renovables.

Los escenarios a estudiar son los mencionados anteriormente. El escenario con gestión inteligente es nombrado como escenario 1, y en el que se recarga en las horas punta se trata del escenario 2. A continuación se adjunta unas imágenes de REE en las que se simulan estos dos escenarios y por lo tanto se pueden extraer aproximadamente las horas en las que se recargarán los vehículos eléctricos en cada uno de ellos.

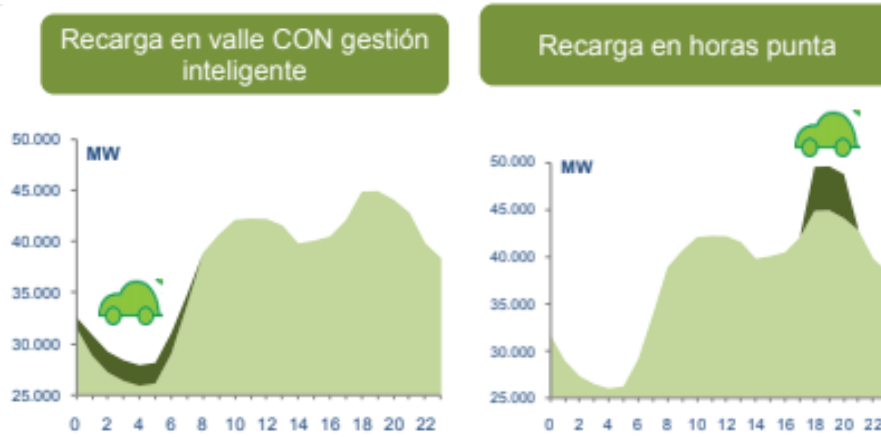


Figura 8.6. Simulación de recarga del coche eléctrico con gestión inteligente y en las horas punta. [24]

En la figura 8.6 se observa que para el escenario 1 la integración es desde las 00:00 hasta aproximadamente las 7:00 y para el escenario 2 de las 19:00 hasta las 23:00. En este último caso no se ajusta exactamente a lo que se ilustra en la imagen, debido a que el máximo absoluto del día medio calculado está desplazado a la derecha.

La demanda de energía en estos periodos viene dada por un polinomio de segundo grado de la forma ax^2+bx+c en el cual la integral de este en los intervalos de recarga debe ser igual a la energía demandada por la totalidad de los vehículos eléctricos. Para cumplir esta premisa se han empleado métodos numéricos con la herramienta Solver de Excel.

La energía bajo la curva de potencia se ha calculado a partir del teorema de Simpson el cual se reduce a la ecuación 3 presentada a continuación.

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} \left[f(x_0) + 2 \sum_{i=2}^{\frac{n}{2}} f(x_{2i-2}) + 4 \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} f(x_{2i-1}) + f(x_n) \right] \quad (3)$$

Donde,

$h = (b-a)/n$

n = Cantidad de valores

Con esta ecuación se obtiene una aproximación de la integral de la ecuación la cual se considera correcta.

Se ha escogido un polinomio de segundo grado para realizar la recarga ya que las características propias de este describen de una forma aproximada el comportamiento que se espera. A primera hora de recarga entran algunos de los coches, y poco a poco la cantidad de coches recargando es más elevada junto a la energía demandada. Sobrepasado la mitad del intervalo, donde más energía se demanda, los primeros coches en recargar dejan de hacerlo y por lo tanto la demanda de energía va disminuyendo hasta 0. Una vez impuesto todas las restricciones, las variables y la función objetivo se

puede emplear la herramienta Solver y obtener los coeficientes del polinomio de la curva de recarga y la nueva curva de demanda total para cada uno de los valores de integración.

Una vez conocida la demanda de energía en los dos escenarios es necesario conocer la contaminación que se produce en estos. Para ello se realiza una interpolación lineal entre la demanda del día medio, el día máximo y la demanda de los escenarios. Para ello se emplea la ecuación 4.

$$Cont_{Ex} = Cont_{med} + \frac{(Dem_{Ex} - Dem_{med})(Cont_{máx} - Cont_{med})}{Cont_{máx} - Cont_{med}} \quad (4)$$

Siendo:

$Cont_{Ex}$: Contaminación del escenario x (x=1,2).

$Cont_{med}$: Contaminación día medio.

$Cont_{máx}$: Contaminación día máximo.

Dem_{Ex} : Demanda del escenario x(x=1,2).

Dem_{med} : Demanda día medio.

$Dem_{máx}$: Demanda día máximo.

Una vez conocida la contaminación diezminutal de cada uno de los escenarios se realiza una integración mediante el método de Simpson empleado anteriormente. Este paso se realiza debido a que los datos de contaminación están dados en tCO₂/h. De esta forma se obtiene la contaminación total diaria de cada uno de los escenarios. Seguidamente se realiza la integración de la contaminación del día medio y de la curva de demanda del día medio.

El valor de contaminación debido a la integración de los nuevos coches eléctricos se obtiene de la diferencia de contaminación entre los escenarios y el día medio. En los cálculos es preciso tener el valor de contaminación anual por lo tanto se debe de multiplicar la diferencia diaria por 365. La contaminación de los coches eléctricos que ya se encuentran dentro del parque automovilístico se extrae a partir del factor de contaminación existente entre la demanda de energía del día medio y la contaminación del día medio. De esta forma ya se cuenta con la contaminación de todos los coches eléctricos. La contaminación de los coches convencionales se calcula de la misma forma que en la comparación del apartado anterior.

La forma de comparar los escenarios es exactamente igual que en el apartado anterior. Primeramente se calcula la contaminación del parque automovilístico actual, y seguidamente la del nuevo parque automovilístico (en cada uno de los escenarios y casos). Se realiza la diferencia entre estos valores y se obtiene la contaminación que se

reduce anualmente. Seguidamente se divide la contaminación producida por la manufactura de las baterías entre la reducción de contaminación anual. Este paso se realiza dos veces ya que se tienen dos valores de manufactura de las baterías (mínimo y máximo). De esta forma se consigue los años que se precisan para compensar la contaminación de las baterías. Una vez conocidos estos años se multiplica por la distancia media anual, con el fin de conocer la distancia necesaria para compensar la contaminación de manufactura del vehículo.

A continuación se presentan los valores de día medio y la contaminación del parque automovilístico actual.

Tabla 8.1. Energía demandada, contaminación generada y factor de contaminación del día tipo medio.

Día medio	
Contaminación (tCO ₂)	144.750
Energía (MWh)	681.146
tCO ₂ /MWh	0,2125

Tabla 8.2. Valores de contaminación del parque automovilístico actual.

Inicial	
Coches eléctricos viejos	14.842
Coches gasolina	9.820.553
Coches diésel	13.038.663
Contaminación en la circulación(kgCO ₂)	
Coches eléctricos viejos	5.339.458
Coches gasolina	26.487.329.505
Coches diésel	32.226.062.415
TOTAL	58.718.731.379

En los siguientes subapartados se presentan los resultados de los cálculos para los diferentes valores de integración.

8.1 Integración del 1%

En este apartado se presentan los resultados de la integración de un 1% del coche eléctrico. Primeramente se presentan las tablas 8.3 y 8.4 donde se han calculado los valores de a, b y c del polinomio de recarga de los dos escenarios.

Tabla 8.3. Cálculo del polinomio de recarga del coche eléctrico en el Escenario 1.

ESCENARIO 1			
Energía extra	987,53	Regla de Simpson	
Condición 0	0,00	n	42
a	9.950,15	h	0,17
b	2.902,13	Integral	987,53
c	0,00		

Tabla 8.4. Cálculo del polinomio de recarga del coche eléctrico en el Escenario 2.

ESCENARIO 2			
Energía extra	987,53	Regla de Simpson	
Condición 0	0,00	n	24
a	-53.326,58	h	0,17
b	84.433,76	Integral	987,53
c	-33.051,37		

En el escenario 1 el polinomio de recarga del conjunto de coches eléctricos es $9950,15x^2 + 2902,13x$, mientras que en el escenario 2 es $-53.326,58x^2 + 84.433,76x - 33.051,37$. Estos polinomios se han graficado en la figura 8.7 para observar el comportamiento de la recarga.

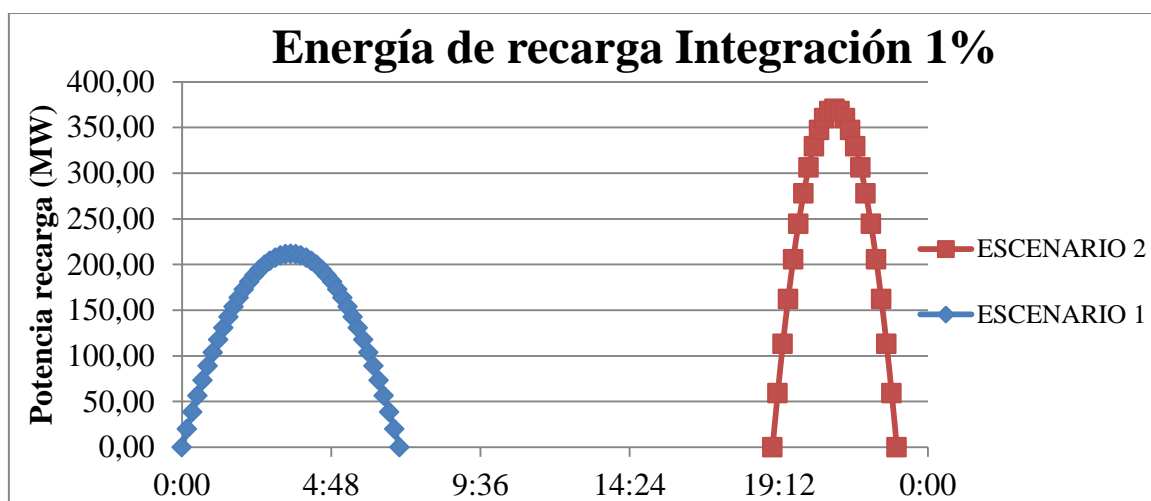


Figura 8.7. Curva de recarga de los nuevos coches eléctricos en el caso de integración de un 1%.

En la figura 8.7 se observa que en el escenario 2 el máximo de potencia demandado es superior al del escenario 1. Esto es debido a que la recarga en el primer escenario se realiza durante más tiempo que en el segundo. Pensando en el conjunto y estabilidad del sistema eléctrico es más beneficioso el primer escenario debido a que es más constante y predecible. Conociendo las dos curvas de recarga se puede presentar la curva de demanda global para los dos escenarios.

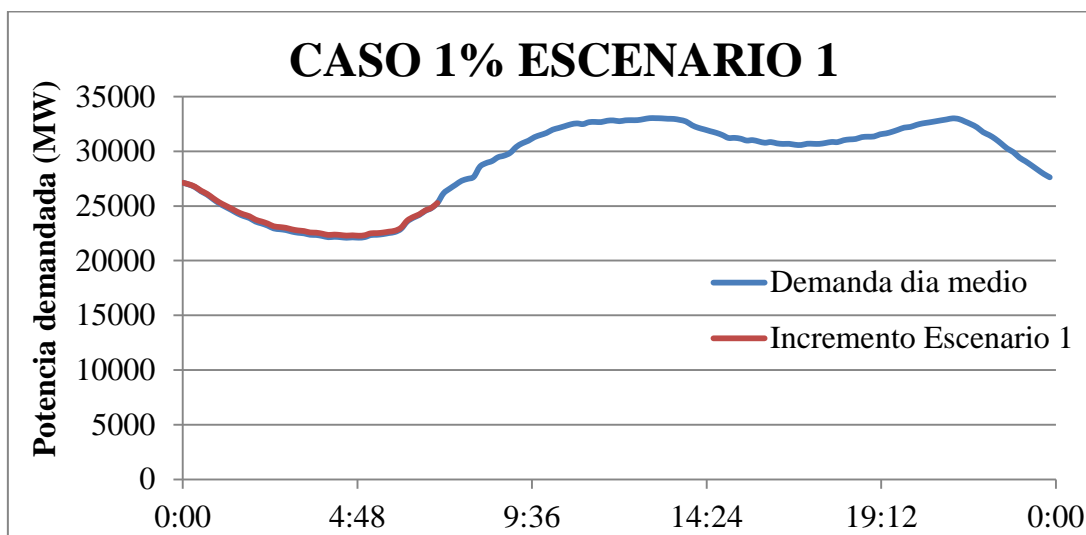


Figura 8.8. Curva de demanda global del Escenario 1.

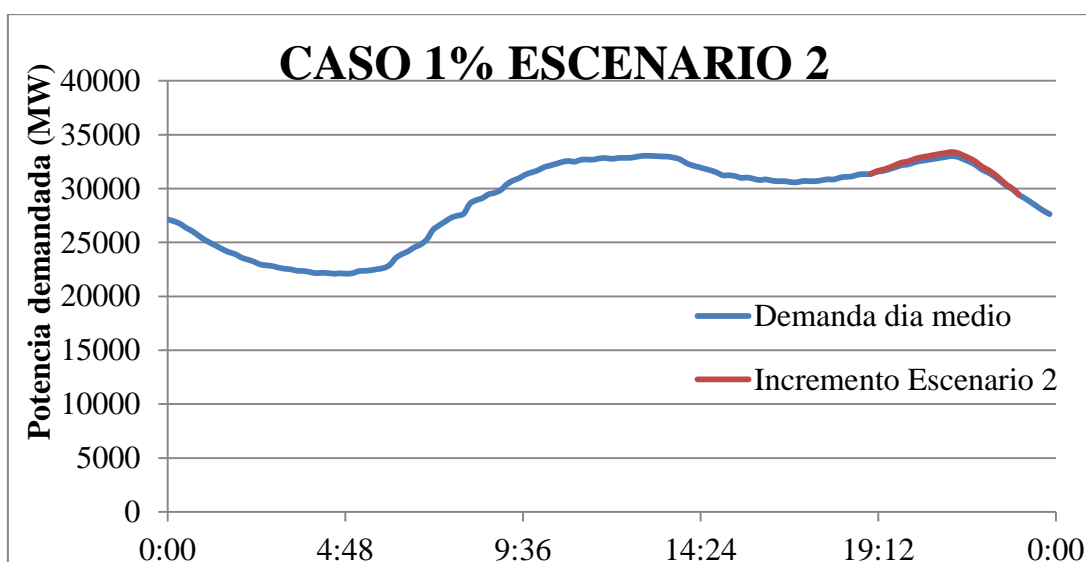


Figura 8.9. Curva de demanda global del Escenario 2.

En las figuras 8.8 y 8.9 se observa que la integración del coche eléctrico no repercute en gran medida en la demanda total del sistema ya que los incrementos de cada escenario están casi superpuestos a la curva de demanda del día tipo medio. La energía demandada por el conjunto de los nuevos coches eléctricos es de 987,53MWh mientras que la energía demandada del día medio es de 681.146 MWh. Por lo tanto la integración del coche eléctrico de un 1% supone un 0,14% de la energía total demandada.

Una vez realizada la nueva curva de demanda de energía se realiza el cálculo de las emisiones totales del sistema eléctrico y la diferencia con la contaminación del día tipo medio obteniendo la tabla 8.5.

Tabla 8.5. Cálculo de la contaminación de los nuevos coches eléctricos del Escenario 1 y 2.

Contaminación integración 1%	
Contaminación E1 (tCO ₂)	145.657
Dif. día medio (tCO ₂)	906,73
Contaminación E2 (tCO ₂)	145.383
Dif. día medio (tCO ₂)	633,03

Se observa que en el primer escenario los nuevos coches eléctricos producen un total de 906,73 tCO₂ y en el segundo 633,03tCO₂. Estos valores son contradictorios a los esperados ya que la recarga del coche eléctrico en el valle de demanda produce cerca de 300 tCO₂ más que la realizada en el pico. Estos resultados son debidos a que no se tiene en cuenta la parada de aerogeneradores a causa de la baja demanda nocturna. Si se tuviese en cuenta este factor el valor del escenario 1 se reduciría considerablemente.

Una vez conocido el valor de contaminación de los nuevos coches eléctricos se presentan las tablas 8.6 y 8.7 parecidas a la del apartado 7. Los datos de contaminación en la circulación corresponden a datos anuales, por lo tanto, los valores de contaminación mostrados en la tabla 8.5 son multiplicados por 365 días.

Tabla 8.6. Tabla resumen de los resultados obtenidos en el Escenario 1 de la integración de un 1% del vehículo eléctrico.

ESCENARIO 1			
Coches eléctricos viejos	14.842	Contaminación en la circulación (kgCO₂)	
Coches eléctricos nuevos	213.899	Coches eléctricos viejos	5.315.022
Coches gasolina	9.728.660	Coches eléctricos nuevos	330.956.402
Coches diésel	12.916.657	Coches gasolina	26.239.481.938
Contaminación de las baterías (kgCO₂)		Coches diésel	31.924.515.165
Máxima	1.647.504.751	TOTAL	58.500.268.528
Mínima	1.235.628.564	Diferencia sin integración	-218.438.415
Años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería			
Años en compensar	7,54	Km/coche	97.755
Años en compensar	5,66	Km/coche	73.316

Se observa que muchos de los valores presentados son iguales a los del apartado de estudio de la integración del vehículo eléctrico en el contexto del mix energético actual. La diferencia está en que anualmente se reduce un 218.438.415kgCO₂, obteniéndose el balance neto de emisiones cercano a los 7 años y medio en el peor de los casos y algo más de cinco años y medio en el mejor de los casos. La distancia recorrida para realizar este balance es de 97.755 kilómetros en el peor de los casos y 73.316 en el mejor de los casos. En el caso más desfavorable se cuenta con casi cuatro años y medio en los que se reduce un total de 973.756.228 kgCO₂. En el caso más favorable las emisiones de CO₂ evitadas es de 1.385.632.415 kgCO₂.

Tabla 8.7. Tabla resumen de los resultados obtenidos en el Escenario 2 de la integración de un 1% del vehículo eléctrico.

ESCENARIO 2			
Coches eléctricos viejos	1.4842	Contaminación en la circulación (kgCO₂)	
Coches eléctricos nuevos	213.899	Coches eléctricos viejos	5.315.021
Coches gasolina	9.728.660	Coches eléctricos nuevos	231.059.208
Coches diésel	12.916.657	Coches gasolina	26.239.481.938
Contaminación de las baterías (kgCO₂)		Coches diésel	31.924.515.165
Máxima	1.647.504.751	TOTAL	58.400.371.333
Mínima	1.235.628.564	Diferencia sin integración	-318.335.609
Años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería			
Años en compensar	5,18	Km/coche	67.078
Años en compensar	3,88	Km/coche	50.308

En el segundo escenario la reducción de contaminación anual es de 318.335.609 kgCO₂. En poco más de 5 años el balance neto de emisiones es cero en el peor de los casos y se precisa recorrer un total de 67.078 kilómetros. En el mejor de los casos el balance cero se obtiene casi a los 4 años de circulación realizando 50.308 kilómetros. Al final de la vida útil de los vehículos eléctricos reducen un total de 2.172.522.559 kgCO₂ en el peor de los casos y 2.584.398.747 kgCO₂ en el mejor de los casos. Se observa que con este segundo escenario se reducen más del doble de emisiones de dióxido de carbono, por lo que en función de las hipótesis realizadas es más conveniente, a nivel medioambiental, realizar la recarga en las horas puntas.

8.2 Integración del 2%

En este apartado se presentan los resultados de la integración de un 2% del coche eléctrico. Primeramente, se presentan las tablas 8.8 y 8.9 donde se han calculado los valores de a, b y c del polinomio de recarga de los dos escenarios.

Tabla 8.8. Cálculo del polinomio de recarga del coche eléctrico en el Escenario 1.

ESCENARIO 1			
Energía extra	2.043,58	Regla de Simpson	
Condición 0	0,00	n	42
a	20.590,67	h	0,17
b	6.005,61	Integral	2.043,58
c	0		

Tabla 8.9. Cálculo del polinomio de recarga del coche eléctrico en el Escenario 2.

ESCENARIO 2			
Energía extra	2.043,58	Regla de Simpson	
Condición 0	0,00	n	24
a	-110.353,14	h	0,17
b	174.725,80	Integral	2.043,58
c	-68.395,96		

En el escenario 1 el polinomio de recarga del conjunto de coches eléctricos es $20.590,67x^2 + 6.005,61x$ mientras que en el escenario 2 es $-110.353,14x^2 + 174.725,80x - 68.395,96$. A continuación en la figura 8.10 se grafica la curva de recarga de estos dos polinomios.

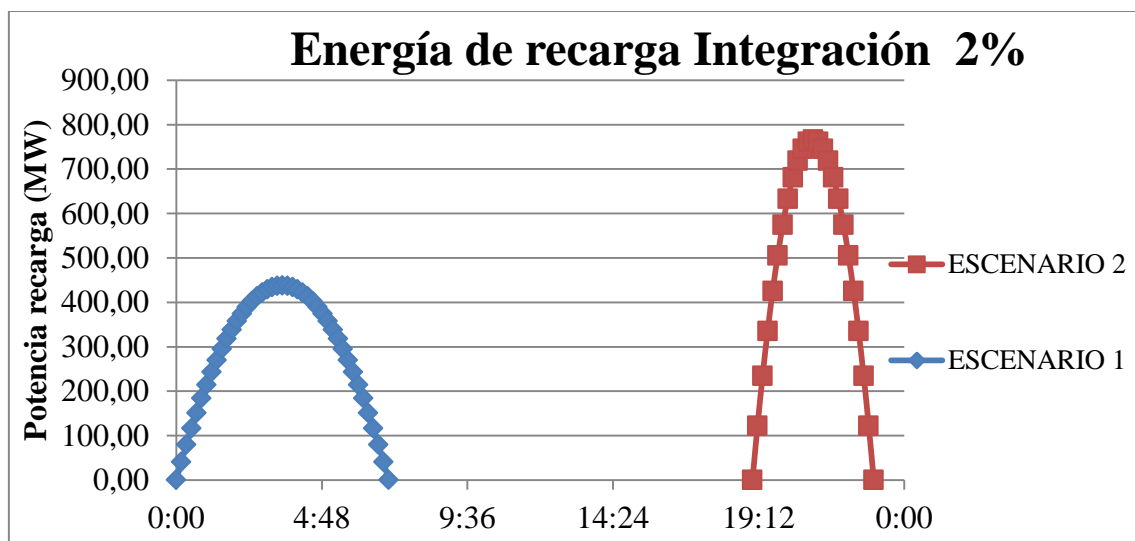


Figura 8.10. Curva de recarga de los nuevos coches eléctricos en el caso de integración de un 2%.

Al igual que en el caso de integración del 1% el escenario 1 dispone de más tiempo de recarga y es por ello que no presenta un pico de potencia tan elevado como el escenario 2. A continuación en las figuras 8.11 y 8.12 se presentan las curvas diarias de demanda global.

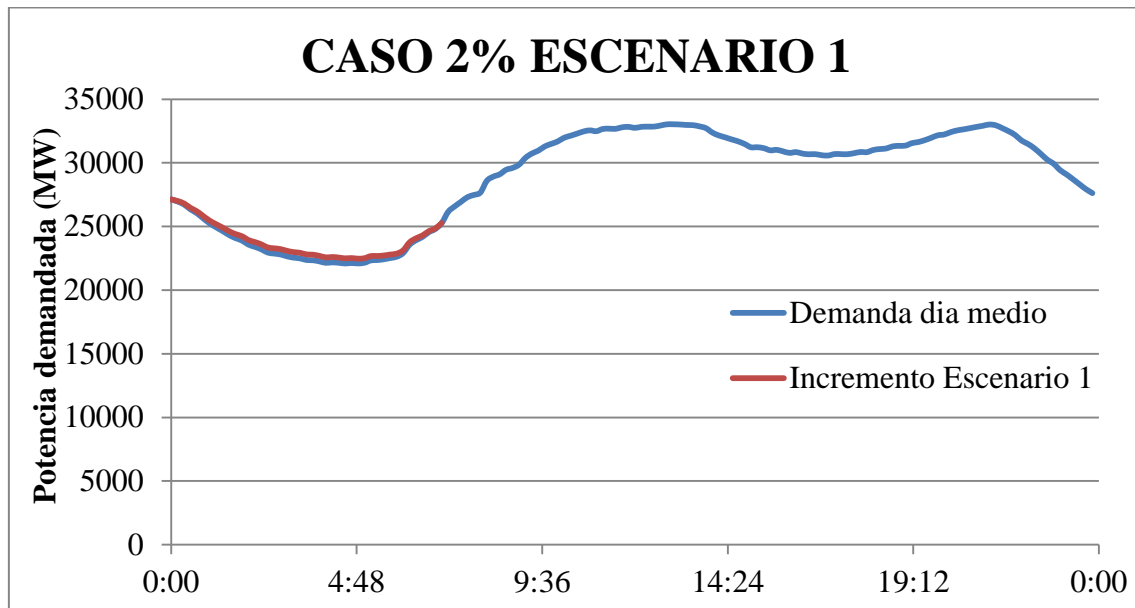


Figura 8.11. Curva de demanda global del Escenario 1.

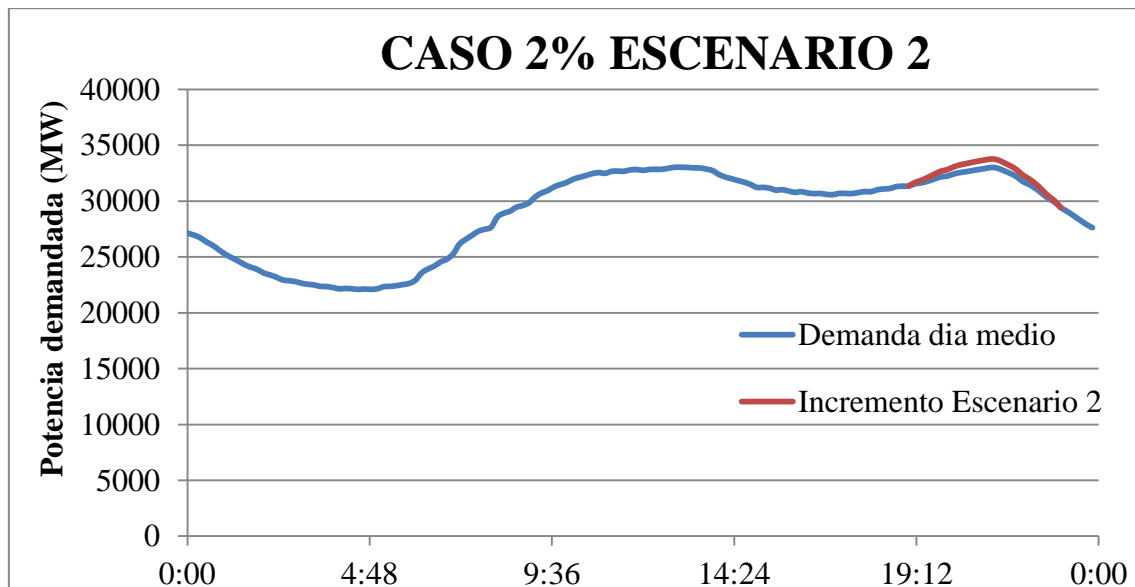


Figura 8.12. Curva de demanda global del Escenario 2.

En el caso de integración del 2% se puede observar una pequeña separación en la curva de demanda global y la curva sin los nuevos vehículos eléctricos. En este caso la energía demandada por los nuevos coches eléctricos es de 2.043,58MWh siendo un 0,3% del total.

Una vez realizada la nueva curva de demanda de energía se realiza el cálculo de las emisiones totales del sistema eléctrico y la diferencia con la contaminación del día tipo medio, obteniendo la tabla 8.10.

Tabla 8.10. Cálculo de la contaminación de los nuevos coches eléctricos del Escenario 1 y 2.

Contaminación integración 2%	
Contaminación E1 (tCO ₂)	146.626,41
Dif. día medio E1 (tCO ₂)	1.876,37
Contaminación E2 (tCO ₂)	146.060,04
Dif. día medio E2 (tCO ₂)	1.310,00

Una vez realizado el cálculo se observa que se repite el mismo patrón, los vehículos eléctricos nuevos producen más emisiones en el escenario 1 que en el 2. Los valores de emisiones en el escenario 1 y 2 son de 1.876,37 tCO₂ y 1.310,00 tCO₂, respectivamente. Se repite este mismo patrón ya que la contaminación del vehículo eléctrico viene dada por una interpolación lineal entre el día medio y máximo. El factor de contaminación en estos días es más elevado en la zona del valle (escenario 1) que en la punta (escenario 2) por lo tanto para cualquier valor de integración del coche eléctrico, con las hipótesis planteadas, siempre es mejor cargar en el escenario 2.

A continuación en las tablas 8.11 y 8.12 se presentan un resumen de los valores más importantes de cada uno de los escenarios.

Tabla 8.11. Tabla resumen de los resultados obtenidos en el Escenario 1 de la integración de un 2% del vehículo eléctrico.

ESCENARIO 1			
Coches eléctricos viejos	14.842	Contaminación en la circulación (kgCO₂)	
Coches eléctricos nuevos	442.639	Coches eléctricos viejos	5.315.022
Coches gasolina	9.630.391	Coches eléctricos nuevos	684.875.623
Coches diésel	12.786.186	Coches gasolina	25.974.437.456
Contaminación de las baterías (kgCO₂)		Coches diésel	31.602.046.014
Máxima	3.409.318.677	TOTAL	58.266.674.116
Mínima	2.556.989.008	Diferencia sin integración	-452.032.827
Años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería			
Años en compensar	7,54	Km/coche	97.755
Años en compensar	5,66	Km/coche	73.316

Los valores de emisión de CO₂ por parte de la producción de las baterías es igual que en el apartado 7.2 ya que los valores son exactamente los mismos. De esta tabla los valores más importantes son la tasa de reducción de emisiones anuales. Este valor es de 452.032.827kgCO₂ capaz de compensar la contaminación de la producción de baterías en un poquito más de siete años y medio en el peor de los casos y en algo más de cinco años y medio en el mejor de los casos. Al final de la vida útil de los vehículos se habrá realizado una reducción de emisiones de 2.015.075.247 kgCO₂ en el peor de los casos y de 2.867.404.916 kgCO₂ en el mejor de los casos.

Tabla 8.12. Tabla resumen de los resultados obtenidos en el Escenario 2 de la integración de un 2% del vehículo eléctrico.

ESCENARIO 2			
Coches eléctricos viejos	14.842	Contaminación en la circulación (kgCO ₂)	
Coches eléctricos nuevos	442.639	Coches eléctricos viejos	5.315.022
Coches gasolina	9.630.391	Coches eléctricos nuevos	478.150.046
Coches diésel	12.786.186	Coches gasolina	25.974.437.456
Contaminación de las baterías (kgCO ₂)		Coches diésel	31.602.046.014
Máxima	3.409.318.677	TOTAL	58.059.948.539
Mínima	2.556.989.008	Diferencia sin integración	-658.758.404
Años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería			
Años en compensar	5,18	Km/coche	67.076
Años en compensar	3,88	Km/coche	50.308

En el segundo escenario la reducción de contaminación anual es de 658.758.404kgCO₂. En poco más de 5 años el balance neto de emisiones es cero en el peor de los casos, y es necesario recorrer un total de 67.076 kilómetros. En el mejor el balance cero se obtiene casi a los 4 años de circulación realizando 50.308 kilómetros. Al final de la vida útil de los vehículos eléctricos se reduce un total de 4.495.782.171kgCO₂ en el peor de los casos y 5.348.111.840kgCO₂ en el mejor de los casos. Una vez más se observa que en el escenario 2 se reduce casi el doble de contaminación a lo largo de toda la vida útil del coche eléctrico. Con una integración del 2% del vehículo eléctrico se observa que al final de su vida útil reduce aproximadamente una quinta parte de las emisiones realizadas por el coche de gasolina en un año.

8.3 Integración del 5%

En este apartado se presentan los resultados de la integración de un 5% del coche eléctrico. Primeramente, se presentan las tablas 8.13 y 8.14 donde se han calculado los valores de a, b y c del polinomio de recarga de los dos escenarios.

Tabla 8.13. Cálculo del polinomio de recarga del coche eléctrico en el Escenario 1.

ESCENARIO 1			
Energía extra	5.211,73	Regla de Simpson	
Condición 0	0,00	n	42
a	52.512,34	h	0,17
b	15.316,10	Integral	5.211,73
c	0		

Tabla 8.14. Cálculo del polinomio de recarga del coche eléctrico en el Escenario 2.

ESCENARIO 2			
Energía extra	5.211,73	Regla de Simpson	
Condición 0	0,00	n	24
a	-281.433,30	h	0,17
b	445.602,72	Integral	5.211,73
c	-174.430,01		

En el escenario 1 el polinomio de recarga del conjunto de coches eléctricos es $52.512,34x^2 + 15.316,10x$ mientras que en el escenario 2 es $-281.433,30x^2 + 445.602,72x - 174.430,01$. A continuación en la figura 8.13 se grafica la curva de recarga de estos dos polinomios.

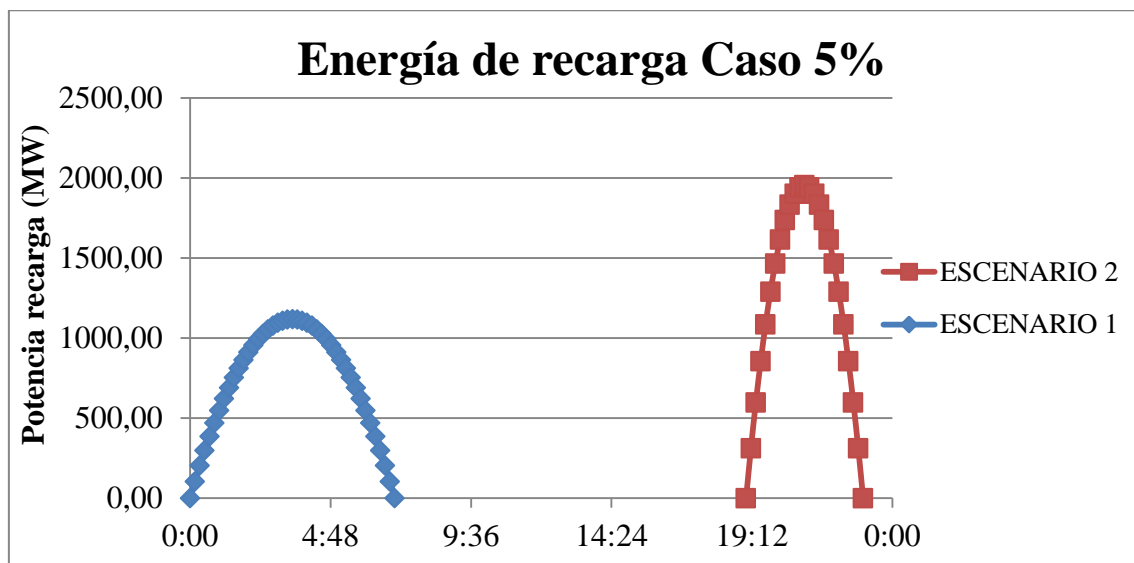


Figura 8.13. Curva de recarga de los nuevos coches eléctricos en el caso de integración de un 5%.

La potencia máxima demandada al sistema es de 1.954,40 MW en el caso del escenario 2 y de 1.116,80MW en el caso del escenario 1. En este caso la demanda energética del conjunto de los vehículos comienza a ser más elevada. La curva de demanda global, en cada uno de los escenarios, comienza a verse afectada por la integración tal y como se observa en las figuras 8.14 y 8.15.

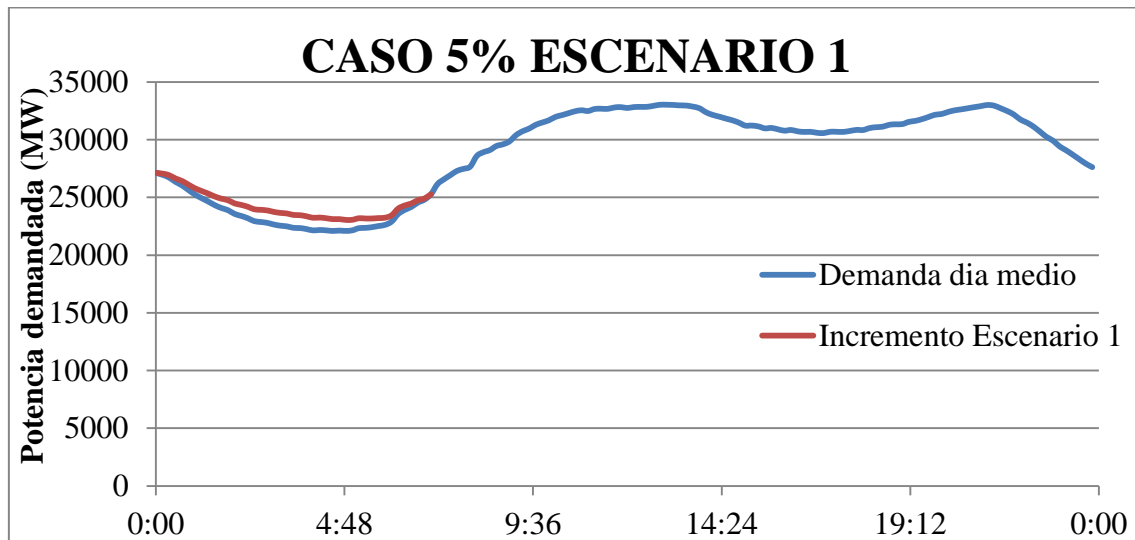


Figura 8.14. Curva de demanda global del Escenario 1.

Para el caso de la integración de un 5% del escenario 1 se empieza a observar el aplanamiento de la curva de demanda a consecuencia de los 5.211,73MWh demandados. Para conseguir el aplanamiento buscado por Red Eléctrica Española es necesario un aumento superior del número de vehículos eléctricos, pero con el valor de este apartado se puede comenzar a observar los resultados y realizar simulaciones del comportamiento de la Red.

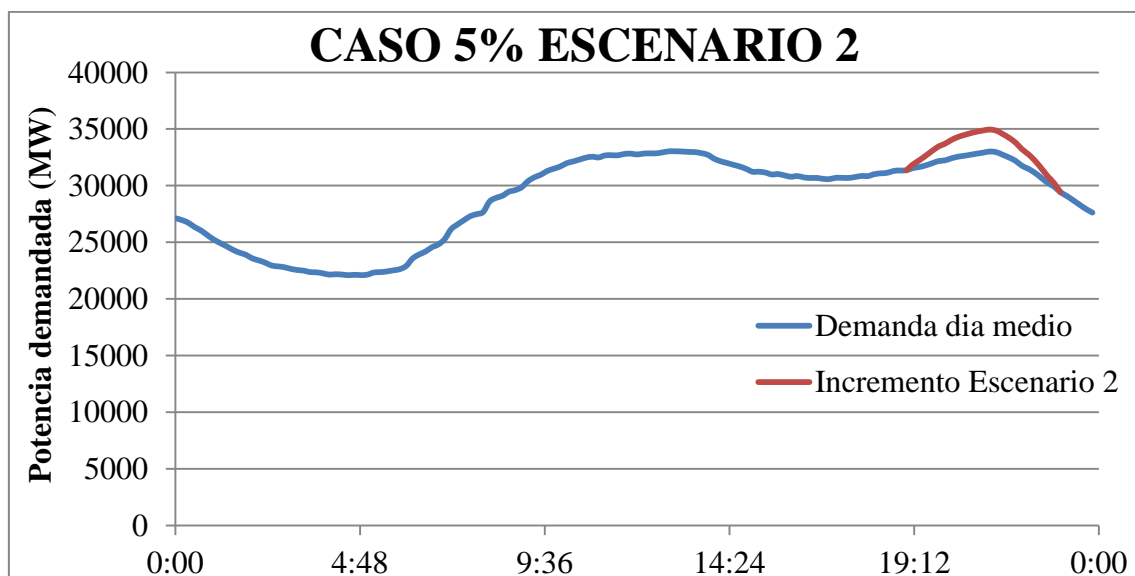


Figura 8.15. Curva de demanda global del Escenario 2.

Al igual que en la curva de demanda global del escenario 1 se puede observar el aplanamiento de la valle, en el escenario 2 se observa como aumenta el máximo. En este caso de integración este aumento no supone ningún problema para el sistema, pero si el valor de incorporación es superior, el valor máximo de demanda sería muy elevado y sería pertinente un estudio de todo el sistema de transporte y distribución para observar la viabilidad técnica.

Una vez observada las dos nuevas curvas de demanda se presentan los valores de contaminación de la electricidad demandada extra por los automóviles en cada uno de los escenarios.

Tabla 8.15. Cálculo de la contaminación de los nuevos coches eléctricos del Escenario 1 y 2.

Contaminación integración 5%	
Contaminación E1(tCO ₂)	149.535,34
Dif. día medio E1 (tCO ₂)	4.785,30
Contaminación E2 (tCO ₂)	148.090,93
Dif. día medio E2 (tCO ₂)	3.340,89

Las emisiones de CO₂ generadas por la conducción de los coches eléctricos son de 4.785,30tCO₂ al día en el caso del escenario 1 y de 3.340,89tCO₂ al día en el escenario 2. En las tablas 8.16 y 8.17 es necesario tener los valores de contaminación anualmente, por lo tanto se multiplican los valores de la tabla 8.15 por 365 días.

Tabla 8.16. Tabla resumen de los resultados obtenidos en el Escenario 1 de la integración de un 5% del vehículo eléctrico.

ESCENARIO 1			
Coches eléctricos viejos	14.842	Contaminación en la circulación (kgCO₂)	
Coches eléctricos nuevos	1.128.861	Coches eléctricos viejos	5.315.022
Coches gasolina	9.335.583	Coches eléctricos nuevos	1.746.636.381
Coches diésel	12.394.772	Coches gasolina	25.179.301.313
Contaminación de las baterías (kgCO₂)		Coches diésel	30.634.636.089
Máxima	8.694.775.858	TOTAL	57.565.888.805
Mínima	6.521.081.893	Diferencia sin integración	-1.152.818.137
Años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería			
Años en compensar	7,54	Km/coche	97.754
Años en compensar	5,66	Km/coche	73.316

En la tabla anterior se observa que para los tres casos de integración los años en compensar y la distancia a recorrer siempre se repiten. Esto es debido a que se realiza una interpolación lineal, y por lo tanto, el aumento de contaminación es lineal con el aumento de vehículos eléctricos. El factor que varía en cada caso es la reducción anual de contaminación. Para el caso de una integración del 5% recargando en el valle, la reducción anual es de 1.152.818.137kgCO₂, con lo que se obtiene una reducción total al final de la vida útil de los coches de 5.139.041.792 kgCO₂ en el peor de los casos y de 7.312.735.756 kgCO₂ en el mejor de los casos.

Tabla 8.17. Tabla resumen de los resultados obtenidos en el Escenario 2 de la integración de un 5% del vehículo eléctrico.

ESCENARIO 2			
Coches eléctricos viejos	14.842	Contaminación en la circulación (kgCO₂)	
Coches eléctricos nuevos	1.128.861	Coches eléctricos viejos	5.315.022
Coches gasolina	9.335.583	Coches eléctricos nuevos	1.219.424.722
Coches diésel	12.394.772	Coches gasolina	25.179.301.313
Contaminación de las baterías (kgCO₂)		Coches diésel	30.634.636.089
Máxima	8.694.775.858	TOTAL	57.038.677.146
Mínima	6.521.081.893	Diferencia sin integración	-1.680.029.797
Años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería			
Años en compensar	5,18	Km/coche	67.078
Años en compensar	3,88	Km/coche	50.308

La reducción de emisiones en el escenario 2 es de 1.680.029.797kgCO₂, obteniendo una reducción total a lo largo de los 12 años de vida de 11.465.581.702 kgCO₂ en el peor de los casos y 13.639.275.666 kgCO₂ en el mejor de los casos.

Se ha podido observar que los años y distancia por recorrer para compensar la contaminación de la batería en ambos escenarios no dependen de la integración impuesta. Esto es debido a las hipótesis realizadas en la metodología de este apartado y que no se tiene en cuenta que a mayor demanda el mix energético puede variar de una forma no lineal. Sí que se puede afirmar que a mayor integración la reducción de emisiones finales es mayor y por lo tanto la introducción del coche eléctrico generaría un impacto positivo. A nivel del estudio realizado la recarga que genera un impacto más positivo en el medioambiente es la del escenario 2 aunque se debe mencionar que no se asegura que a nivel técnico esta se pueda realizar. El escenario 1 presentaría unos niveles de contaminación más bajos si se hubiese tenido en cuenta la parada de aerogeneradores en las horas valle del sistema en consecuencia de una baja demanda.

9. Análisis económico

En este apartado se presenta el análisis económico del trabajo. Al no tratarse de un trabajo de final de grado de ingeniería convencional que normalmente incluye algún tipo de instalación, únicamente se han tenido en cuenta las horas invertidas en el trabajo como ingeniero junior, y la amortización del ordenador empleado. El coste de un ingeniero junior lo situaremos en 25€ la hora realizando un total de 600 horas (25h/crédito x 24 créditos). El coste del ordenador es de 1.500€ que se ha utilizado durante 6 meses. Este ordenador se considera amortizado a los 4 años por lo que nos sale un coste anual de 375€. En este caso únicamente se ha utilizado el ordenador durante medio año por lo tanto el coste total del hardware empleado en el trabajo es de 187,5€. Por último es necesario tener en cuenta el software utilizado. En este trabajo únicamente se ha empleado el paquete Office que venía incluido con la compra del ordenador por lo tanto el coste es 0. A continuación en la tabla 9.1 se muestra un resumen de los costes.

Tabla 9.1. Presupuesto del proyecto.

CONCEPTO	COSTE UNITARIO	UNIDADES	TOTAL
Ingeniero Junior	25€/h	600 h	15.000€
Hardware	375€/año	0,5 años	187,5€
TOTAL SIN IVA			15.187,5€
TOTAL CON IVA (21%)			18.376,88€

El coste total de proyecto sin IVA es de 15.187,5€.

Conclusiones

En este proyecto se han estudiado las consecuencias medioambientales que generaría la integración de un 1%, 2% y 5% del coche eléctrico en el parque automovilístico español.

El análisis medioambiental de un vehículo se puede realizar por la cantidad de emisiones de CO₂ equivalentes generadas en la fabricación del coche, su conducción y su disposición al final de su vida útil. En este proyecto únicamente se han tenido en cuenta los dos primeros factores debido a que se realiza una comparación entre el parque actual y un supuesto parque actual con una participación superior de coches eléctricos y por lo tanto no se precisa calcular la disposición de los vehículos. En el análisis se comprueba la disminución anual de emisiones, asimismo se calcula el tiempo y distancia recorrida por cada turismo eléctrico para compensar la contaminación de la manufactura de éste.

El impacto ambiental producido por un coche eléctrico recae en su fabricación, contrariamente a lo que ocurre en el convencional en que el 90% del impacto se acumula en la conducción del vehículo.

Las emisiones de CO₂ generadas desde la obtención del combustible hasta las ruedas, de las dos tipologías de coches convencionales existentes en el parque, se han caracterizado gracias a los datos de contaminación en tubo de escape proporcionados por el Instituto para la Diversificación Y Ahorro de la Energía, y el análisis *Well to Tank* realizado por profesores e investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid.

El vehículo eléctrico permite descontaminar las ciudades debido a que no genera emisiones a nivel local, pero hay que tener en cuenta que la electricidad que emplea es producida por diferentes tipologías de centrales de generación de energía. La incorporación de los vehículos eléctricos repercute en un aumento de la demanda de energía eléctrica a consecuencia de la recarga de las baterías y por lo tanto una variación en la participación de las diferentes tipologías de centrales de generación. Predecir el mix energético con una demanda superior es muy complejo, por ello en este proyecto se han realizado dos modelos más sencillos. En el primero se ha considerado que el mix energético se mantiene igual y por lo tanto el factor de contaminación no varía. Las hipótesis empleadas han hecho que el valor de incorporación del turismo eléctrico no influya en el tiempo de recuperación de la contaminación generada en la producción de los coches eléctricos, siendo este entre los 2,71 años y 3,61 años. Sin embargo, el valor de incorporación influye en la reducción de emisiones al final de la vida útil del coche, cuanta mayor integración mayor reducción. Este método no es el más real posible pero sirve para tener una primera toma de contacto con los datos. Para ajustar este método se ha tenido en cuenta el momento del día en el que se recarga la batería. Red Eléctrica Española considera que la recarga se puede efectuar de una forma eficiente para el sistema, realizándola en la valle de la curva de demanda o ineficiente recargando en la punta de la curva de demanda. Al igual que en el primer método en ambos escenarios el valor de recuperación de la contaminación inicial ha sido constante con la variación del

número de incorporación. En el caso considerado como óptimo por REE el balance cero se realiza entre los 5,66 años y 7,54 años. Inesperadamente en el escenario ineficiente entre los 3,88 años y los 5,18 se reducen las emisiones generadas por la producción de los vehículos. Siendo en ambos escenarios inferiores a la vida útil del coche de 12 años y reduciendo las emisiones del parque automovilístico global.

Los resultados obtenidos son contradictorios a los establecidos por REE ya que en el estudio las emisiones son menores en el caso ineficiente. Este hecho es debido a que la metodología empleada no tiene en cuenta que en la actualidad se han de parar generadores eólicos a causa de la baja demanda en el valle de la curva. Es por ello que REE considera que la recarga se ha de realizar con cargador inteligente y por la madrugada para poder aumentar la integración de renovables entre otros factores. En definitiva el vehículo eléctrico tiene la característica de ser una demanda movible y controlable que beneficiaría al sistema aumentando la participación de las renovables.

En el estudio realizado, la recarga de las baterías en el punto de máxima demanda diaria es más beneficiosa medioambientalmente pero esto no significa que sea viable a nivel del sistema de transporte y distribución de la energía eléctrica. Para un futuro trabajo se considera interesante realizar un estudio del sistema eléctrico español y las modificaciones necesarias que se precisan para soportar la incorporación del vehículo eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DGT Dirección General de Tráfico. s.f. <http://www.dgt.es/es/prensa/notas-de-prensa/2016/20160414-dgt-clasifica-parque-vehiculos-funcion-potencial-contaminante.shtml> (último acceso: Setiembre de 2018).
- [2] Ajuntament de Barcelona. s.f. <https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/es/noticia/restricciones-de-trazafico-en-episodio-de-contaminacizen> (último acceso: Setiembre de 2018).
- [3] Ojea, Laura. «Manuela Carmena quiere convertir Madrid en el "nuevo Copenhague".» *El Periódico de la energía*, 8 de Setiembre de 2018.
- [4] Redacción. «La industria del hidrógeno podría mover 1.300 millones y crear 227.000 puestos de trabajo para 2030.» *El periódico de la energía*, 11 de Setiembre de 2018.
- [5] Roca, Ramón. «El número de vehículos eléctricos alcanza los cuatro millones en todo el mundo.» *El periódico de la energía*, 1 de Setiembre de 2018.
- [6] *elEconomista.es*. «La edad media del parque automovilístico español ya supera los 12 años.» 23 de Enero de 2018.
- [7] ABC. «El parque de coches en España sigue envejeciendo.» 4 de Mayo de 2017.
- [8] DGT Dirección General de Tráfico. s.f. https://sedeapl.dgt.gob.es/WEB_IEST_CONSULTA/categoria.faces (último acceso: Diciembre de 2017).
- [9] «Fundación Wikimedia, Inc.» *Wikipedia®*. 14 de Setiembre de 2018. https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_cuatro_tiempos (último acceso: Setiembre de 2018).
- [10] «Fundación Wikimedia, Inc.» *Wikipedia®*. 24 de Julio de 2018. https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Otto (último acceso: Agosto de 2018).
- [11] *Acerca de Laplace*. 1 de Marzo de 2013. http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel (último acceso: Agosto de 2018).
- [12] *Transparencias asignatura Redes Eléctricas Inteligentes. Vehículos Eléctricos*. 03 de Setiembre de 2017.
- [13] Generalitat de Catalunya. s.f. http://icaen.gencat.cat/es/energia/usos_energia/mobilitat/vehicle/avantatges/ (último acceso: Marzo de 2018).
- [14] «Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía.» Mayo de 2017. <http://coches.idae.es/PDF/GuiaFinalN.pdf> (último acceso: Abril de 2018).

- [15] López, José Maria, Nuria Flores, Jullo Lumbreras, Rosalia Villimar, y Cristina Pascual. «Universidad Politécnica de Madrid.» s.f. http://oa.upm.es/7715/1/INVE_MEM_2010_78721.pdf.
- [16] Rodríguez, Lourdes, y Ana Beatriz Pérez. «Universidad de Castilla-La Mancha.» s.f. <https://previa.uclm.es/centro/cesco/pdf/trabajos/23/2004/23-2004-1.pdf> (último acceso: Junio de 2018).
- [17] Romare, Mia, y Lisbeth Dahllöf. «IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.» s.f. <https://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243+The+life+cycle+energy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf> (último acceso: Mayo de 2018).
- [18] *Movilidad eléctrica*. s.f. <https://movilidadelectronica.com/ventas-vehiculos-electricos-2017/> (último acceso: Febrero de 2018).
- [19] *Endesa* S.A. s.f. <https://endesavehiculoelectrico.com/el-vehiculo-electrico/comparativa-de-eficiencia-energetica/> (último acceso: Agosto de 2018).
- [20] *Red Eléctrica de España*. 13 de Junio de 2017. <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/informe-anual/informe-del-sistema-electrico-espanol-2016> (último acceso: Febrero de 2018).
- [21] *Red Eléctrica de España*. s.f. <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico/3015/all> (último acceso: Febrero de 2018).
- [22] *OMIE*. s.f. <http://www.omie.es/inicio/mercados-y-productos/mercado-electricidad/nuestros-mercados-de-electricidad/mercado-diario> (último acceso: Agosto de 2018).
- [23] *Red Eléctrica de España*. s.f. <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/balance-diario> (último acceso: Marzo de 2018).
- [24] Gonzalez, Miguel. «II JORNADA SOBRE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS.» *El Vehículo Eléctrico y el Sistema eléctrico español: Situación actual y perspectivas*. Mérida, 19 de Junio de 2014.